

<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-4-105-110>
УДК 621.74:658.382

Поступила 17.06.2025
Received 17.06.2025

ИССЛЕДОВАНИЕ МАСШТАБОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ВЫБРОСАМИ СТАЛЕЛИТЕЙНЫХ ЦЕХОВ С МАССОВЫМ ХАРАКТЕРОМ ПРОИЗВОДСТВА

А. М. ЛАЗАРЕНКОВ, И. А. ИВАНОВ, М. А. САДОХА, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: cadoxa@bntu.by

Приведены результаты исследования выбросов вредных веществ от источников сталелитейных цехов с массовым характером производства. Рассмотрены источники выбросов и основные вредные вещества, выбрасываемые от участков сталелитейных цехов. Определено распределение выбрасываемых вредных веществ от источников различных участков сталелитейных цехов. Установлено, что наибольшее содержание в выбрасываемых объемах приходится на пыль, оксид углерода, оксиды азота, фенол, формальдегид, превышение концентрации которых в воздушной среде отмечается в жилой зоне, находящейся в районе расположения предприятия, и особенно у корпусов сталелитейных цехов.

Ключевые слова. Литейный цех, участки цехов, источники выбросов, окружающая среда, вредные вещества, карта рассеивания, жилая зона.

Для цитирования. Лазаренков, А. М. Исследование масштабов загрязнения окружающей среды выбросами сталелитейных цехов с массовым характером производства / А. М. Лазаренков, И. А. Иванов, М. А. Садоха // *Литье и металлургия*. 2025. № 4. С. 105–110. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-4-105-110>.

INVESTIGATION OF THE SCALE OF ENVIRONMENTAL POLLUTION FROM STEEL WORKSHOPS WITH MASS PRODUCTION

A. M. LAZARENKOV, I. A. IVANOV, M. A. SADOKHA, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: cadoxa@bntu.by

The results of a study of emissions of harmful substances from sources of steel foundries with mass production are presented. The sources of emissions and the main harmful substances emitted from the sites of steel foundries are considered. The distribution of the emitted harmful substances from the sources of various sections of steel workshops has been determined. It has been established that the highest concentrations in the emitted volumes are dust, carbon monoxide, nitrogen oxides, phenol, and formaldehyde, the excess concentration of which in the air is noted in the residential area located in the area of the enterprise, and especially in the steel workshops.

Keywords. Foundry, workshop sites, emission sources, environment, harmful substances, dispersion map, residential area.

For citation. Lazarenkov A. M., Ivanov I. A., Sadokha M. A. Investigation of the scale of environmental pollution from steel workshops with mass production. *Foundry production and metallurgy*, 2025, no. 4, pp. 105–110. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-4-105-110>.

Острой проблемой в литейном производстве остается неудовлетворительное состояние воздушной среды [1–7]. Химизация литейного производства, способствуя созданию прогрессивной технологии, одновременно ставит новые задачи в оздоровлении воздушной среды.

В работе приведены результаты исследований выбросов от источников сталелитейных цехов с массовым характером производства, оценки долевого участия различных участков сталелитейных цехов в выбросах, расчеты рассеивания вредных веществ в атмосфере, оценки загрязнения воздушной среды близко расположенных жилых массивов и территории предприятий.

Исследования проводились по всем выбрасываемым вредным веществам с учетом применяемых технологических процессов, используемого оборудования и характера производства. В табл. 1 приведено распределение выбросов вредных веществ в атмосферу по участкам сталелитейных цехов с массовым характером производства.

К числу основных источников пыли в цехах массового производства относятся обрубочно-очистные отделения, которые выбрасывают в атмосферу почти четверть всей пыли при высоком коэффициенте загрузки очистного оборудования.

Т а б л и ц а 1. Распределение выбросов вредных веществ в атмосферу по участкам сталелитейных цехов с массовым характером производства

Вредные вещества	Валовые выбросы вредных веществ по участкам сталелитейных цехов, %						
	шихтовый	плавно-заливочный	смесеприготовительный	стержневой	формовочный	выбивной	термообрубной
Пыль	5,1	45,1	9,8	6,7	4,9	8,8	19,6
Оксид углерода	1,2	67,2	1,1	2,3	1,4	3,4	23,4
Оксид азота	0,4	72,8	0,5	6,5	2,3	2,6	15,1
Фенол + формальдегид		4,3	2,6	89,0	1,7	2,4	

Аналогичное положение отмечается и в смесеприготовительных отделениях этих цехов (около 10%), где осуществляются подготовка формовочных материалов и приготовление смесей. Причем значительная запыленность воздуха рабочих мест вышеуказанных участков приводит к неорганизованному удалению пыли через светоаэрационные фонари.

При изготовлении отливок в песчано-глинистых формах в сталелитейных цехах массового производства на шихтовых участках происходит подготовка материалов (песка и глины, шихтовых материалов для плавки), при которой выбрасывается значительная масса пыли (доля печей сушки песка и глины, узлов пересыпки материалов составляет около 70 % пыли шихтовых участков).

Основным источником выброса оксида углерода в сталелитейных цехах являются плавильные агрегаты, на которые приходится около 68 % выбросов плавно-заливочных отделений. При этом на объемы выбросов оказывает значительное влияние не характер производства литейного цеха, а только тип используемых плавильных агрегатов. Так, применение электроплавильных печей в сталелитейном цехе массового производства может снизить долю выбрасываемого отделением оксида углерода. Значительная масса выброса оксида углерода приходится на заливочные конвейеры и охлаждающие кожухи, а также на выбросы через светоаэрационные фонари.

В сталелитейных цехах массового производства в термообрубных отделениях от термических печей с газовым нагревом выбрасывается около 23 % оксида углерода.

Источниками выброса диоксидов азота в сталелитейных цехах являются плавильные агрегаты, заливочные конвейеры и охлаждающие кожухи. На долю плавно-заливочных отделений приходится в среднем около 73 % выбрасываемых в атмосферу диоксидов азота. Обращает внимание и высокий процент выброса диоксидов азота со стержневых участков (около 6 % за счет используемых стержневых автоматов с газовым нагревом оснастки) и термообрубных участков (около 15 % за счет термических печей с газовым нагревом) сталелитейных цехов массового производства.

При использовании стержней, изготавливаемых на автоматах по нагреваемой оснастке и из холоднотвердеющих смесей, выбросы фенола, формальдегида, фурфурола, фурилового и метилового спирта приходится в основном на стержневой участок (около 90 %). Небольшое количество этих веществ отмечается в выбросах заливочных, выбивных и смесеприготовительных участков, что также необходимо учитывать при разработке мероприятий по снижению выбросов.

Кроме вышерассмотренных, в выбросах отдельных участков литейных цехов отмечены и другие вещества. Так, в выбросах плавильного отделения сталелитейного цеха от электродуговых печей наблюдались цианиды и их соединения, а также фтористые соединения. На участках окраски термообрубных отделений сталелитейных цехов массового производства выбрасывается в атмосферу значительное количество таких веществ, как этанол, бутанол, толуол, бутилацетат, этилцеллозольв (около 6 %). Источниками указанных веществ являются окрасочные и сушильные камеры.

В табл. 2 приведено распределение выбросов сталелитейных цехов массового производства по вредным веществам.

Т а б л и ц а 2. Распределение выбросов вредных веществ в атмосферу от сталелитейных цехов с массовым характером производства

Вредные вещества	Валовые выбросы, %
Пыль	16,7
Оксид углерода	71,0
Диоксид азота	3,8
Фенол, формальдегид, фурфурол, аммиак, метанол	2,7
Толуол, бутанол и др.	5,8

Таким образом, от источников сталелитейных цехов в окружающую среду выбрасывается значительное количество вредных веществ. Степень их улавливания очистными установками недостаточна. Следует отметить, что в основном такие системы используются для очистки выбрасываемых газов от пыли. Применение очистных сооружений на базе рукавных фильтров для очистки отходящих газов от пыли от дуговых электроплавильных печей сталелитейного цеха массового производства значительно снижает количество выбрасываемой пыли.

Источники выбросов вредных веществ литейных цехов оказывают влияние на загрязнение окружающей среды, степень которого в основном определяется выбросами плавно-заливочных, термообрубных, выбивных и стержневых участков. При этом масштабы загрязнения зависят в значительной степени от используемого плавильного агрегата, технологического процесса изготовления стержней и термообработки литья, а также от характера производства литейных цехов.

Совершенствование технологических процессов, применение высокоэффективных систем газоочистки позволяют существенно уменьшить размеры промышленных выбросов в воздушный бассейн. В то же время полностью уловить пылегазообразные примеси в отходящих газах практически невозможно, и выделение в атмосферу некоторой части вредных веществ пока еще неизбежно. Для того чтобы вредное вещество в приземном слое атмосферы не превышало предельно допустимую максимальную разовую концентрацию, пылегазовые выбросы подвергаются рассеиванию в атмосфере через высотные трубы.

Распространение в атмосфере промышленных выбросов подчиняется законам турбулентной диффузии. На процесс рассеивания существенное влияние оказывают состояние атмосферы, расположение предприятий, характер местности, физические свойства выбросов, параметры источника и др.

Горизонтальное перемещение примесей определяется в основном скоростью ветра, а вертикальное – распределением температур в вертикальном направлении. По мере удаления от источника в направлении распространения промышленных выбросов концентрация вредностей в приземном слое атмосферы сначала нарастает, достигает максимума и затем медленно убывает. Источники литейных цехов относятся к источникам средней высоты ($H = 10\text{--}50$ м) или низким источникам ($H = 2\text{--}10$ м), поэтому максимальное содержание вредных веществ будет смещаться к источнику.

Основным документом, регламентирующим расчет рассеивания выбросов промышленных предприятий в атмосфере и определение приземных концентраций вредных веществ, являются Методы расчета рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе (утверждены Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 06.06.2017 № 273).

Максимальное значение приземной концентрации вредного вещества C_m , мг/м³, при выбросе газовой смеси из устья источника достигается при неблагоприятных метеорологических условиях на расстоянии X_m , м, от источника и определяется по формуле

$$C_m = \frac{AMFmn\eta}{H^2 \sqrt[3]{V_1 \Delta T}},$$

где A – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы; M – масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени, г/с; F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе; m, n – коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса; η – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности; H – высота источника выброса над уровнем земли, м; ΔT – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси T_r и температурой окружающего атмосферного воздуха T_b , °C; V_1 – объемный расход газовой смеси.

Масса вредных веществ M , выбрасываемых в атмосферу каждым источником, определяется по формулам:

$$\text{секундная } M_c = \frac{QC_{cp}}{3,6 \cdot 10^6}, \text{ г/с;}$$

$$\text{годовая } M_r = \frac{3600 \cdot M_c T_{год} K_3}{10^6}, \text{ т/г,}$$

где Q – объем выбрасываемой в атмосферу газовой смеси, м³/ч; C_{cp} – концентрация вредных веществ в газовой смеси, мг/м³; $T_{год}$ – годовое время работы оборудования, ч; K_3 – коэффициент загрузки оборудования.

Для сталелитейных цехов, выбранных в качестве объектов для исследований, были выполнены по данным инвентаризации вентиляционных выбросов расчеты рассеивания вредных веществ вблизи

расположенных жилых районов, а также на территории предприятия по оценке чистоты воздуха, забираемого в системы приточной вентиляции. Расчеты позволили в результате работы ЭВМ получить карты рассеивания вредных веществ, на которых наглядно видна картина распределения концентраций вредных веществ на рассматриваемой площадке. При этом расчеты проводились без учета фоновых концентраций вредных веществ в районе предприятий. На рис. 1–3 приведены карты рассеивания вредных веществ (пыли, оксида углерода и группы суммации (фенол и формальдегид) на территории предприятия вблизи сталелитейных цехов массового производства, в санитарно-защитной зоне (300 м для производств стального литья более 50 тыс. т/год) и вблизи расположенных жилых районов.

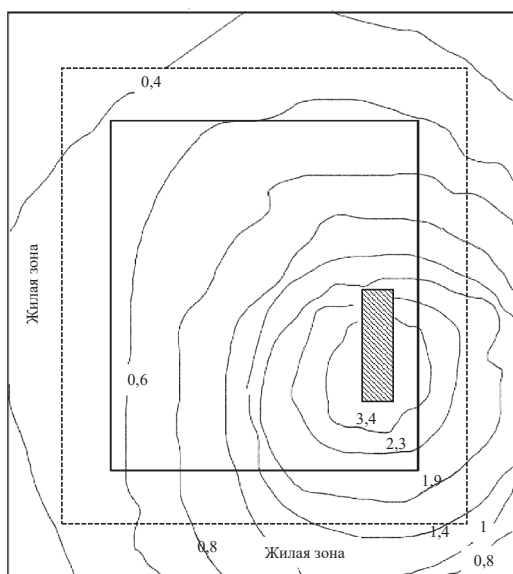


Рис. 1. Карта рассеивания пыли от источников сталелитейного цеха массового производства:

– корпус литейного цеха;
 – территория предприятия;
 – санитарно-защитная зона
 0,4; 0,6; 0,8 и т. д. – содержание веществ в долях от предельно допустимого значения

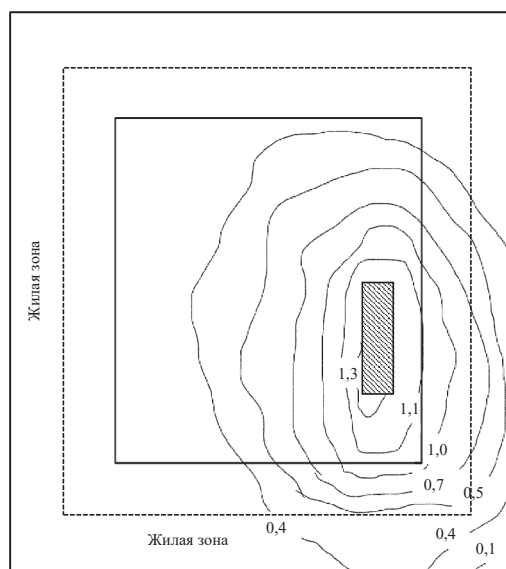


Рис. 2. Карта рассеивания веществ группы суммации (фенол, формальдегид) от источников сталелитейного цеха массового производства:

– корпус литейного цеха;
 – территория предприятия;
 – санитарно-защитная зона
 0,1; 0,4; 0,5 и т. д. – содержание веществ в долях от предельно допустимого значения

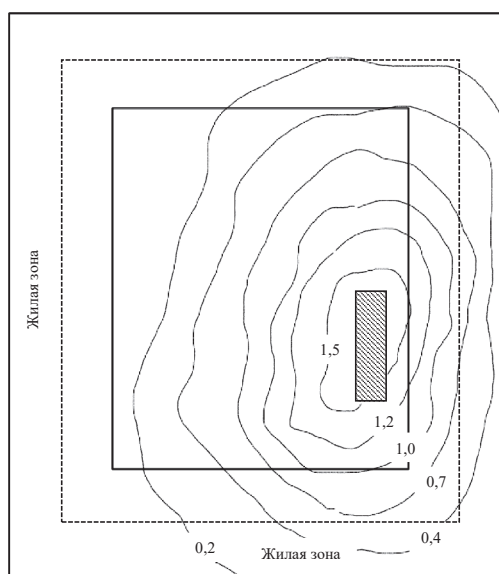


Рис. 3. Карта рассеивания оксида углерода от источников сталелитейного цеха массового производства:

– корпус литейного цеха;
 – территория предприятия;
 – санитарно-защитная зона
 0,2; 0,4; 0,7 и т. д. – содержание веществ в долях от предельно допустимого значения

Анализ полученных данных показал, что источники сталелитейных цехов загрязняют санитарно-защитную зону вредными веществами в количествах, превышающих максимальные разовые предельно допустимые концентрации (ПДК). Так, на границе санитарно-защитной зоны и территории предприятия (вблизи цеха) наблюдаются превышения ПДК по пыли до 2,3 раза, по группе суммации до 1,1 раза, по оксиду углерода до 1,2 раза. Однако на границе санитарно-защитной и жилой зон отмечено превышение только по пыли до 1,4 раза.

Расчеты рассеивания вредных веществ от источников литейных цехов на территории площадки предприятия проводили исходя из положения, что содержание вредных веществ в подаваемом в помещения цехов свежем воздухе не должно превышать 0,3 ПДК для рабочих мест. Проведенные расчеты показали, что концентрации выбрасываемых вредных веществ у корпусов сталелитейных цехов превышают 0,3 ПДК. По пыли отмечаются превышения до 3,4 раза, по группе суммации – до 1,3 раза, по оксиду углерода превышения нет. Существенное отличие отмечается в концентрациях пыли, что объясняется различием в высоте источников выброса вредных веществ (в основном плавильных агрегатов). Данный факт необходимо учитывать при организации приточной вентиляции, так как свежий воздух забирается, как правило, непосредственно у корпусов цехов. Поэтому в приточной части вентиляции следует предусматривать системы очистки подаваемого воздуха от вредных веществ.

Исследование эффективности пылегазоулавливающих установок в литейных цехах свидетельствует, что степень очистки для большинства из них составляет 56–74% (в системах очистки от ДСП примерно 90–94%). Низкая эффективность применяемых систем очистки объясняется их неудовлетворительным эксплуатационным состоянием (накоплением в воздуховодах пыли из-за низких скоростей движения воздуха), негерметичностью воздуховодов.

Таким образом, результаты расчетов рассеивания выбросов вредных веществ в атмосфере подтвердили вывод о их влиянии на здоровье людей, проживающих в близрасположенных районах. По данным санитарно-эпидемиологических служб, заболеваемость жителей промышленных районов выше.

На основании изучения выбросов вредных веществ в атмосферу установлено, что наибольшее их количество – это оксид углерода и пыль. Основная их масса приходится на источники плавильно-заливочных, термообрубных и выбивных участков. Главными источниками выделения пыли являются плавильные агрегаты, выбивное, смесеприготовительное и очистное оборудование; оксида углерода и диоксидов азота – плавильные агрегаты, сушильные и термические печи; фенола, формальдегида, фурфуrolа и др. – оборудование стержневого участка, залитые формы.

Исходя из вышесказанного, можно сформулировать следующие рекомендации проектировщикам литейных цехов, направленные на достижение экологического равновесия в рассматриваемой системе и уменьшение влияния выбросов вредных веществ на человека. Причем эту проблему необходимо решать только проведением комплекса мероприятий как по улучшению условий труда работающих в литейных цехах, так и по уменьшению загрязнения окружающей среды. Основными из этих мероприятий являются:

- использование экологически более чистых технологических процессов изготовления отливок, таких как изготовление стержней и форм из холоднотвердеющих смесей, жидкостекольных смесей, по Ашланд-процессу, Бетасет-процессу, SO₂-эпокси-процессу и др.;
- применение более экологичных моделей литейного оборудования, таких как прессовые и импульсные формовочные автоматы, установки приготовления жидкостекольных и холоднотвердеющих смесей, индукционные печи и дуговые постоянного тока и др.;
- использование для термообработки отливок печей с электронагревом вместо газового;
- применение высокоэффективных систем локализации и нейтрализации выбросов вредных веществ, предусматриваемых при разработке литейного оборудования;
- рациональное размещение предприятий с литейными цехами, как правило, вне городской черты и с соблюдением размеров санитарно-защитной зоны;
- обязательное проведение экологической экспертизы проектов новых и реконструируемых литейных цехов с использованием разработанной системы комплексной экологической оценки и рассмотрением нескольких вариантов технологических решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лазаренков, А. М. Исследование источников литейных цехов и масштабов загрязнения окружающей среды выбросами вредных веществ / А. М. Лазаренков, С. А. Хорева // Литье и металлургия. – 2008. – № 2. – С. 124–130.

2. **Лазаренков, А.М.** Загрязнения окружающей среды выбросами вредных веществ литейных цехов / А.М. Лазаренков, С.А. Хорева, В.А. Калинин // Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. – Челябинск, 2009. – Т. 2. – С. 97–106.
3. **Лазаренков, А.М.** Оценка выбросов вредных веществ от источников литейных цехов в окружающей среде / А.М. Лазаренков, С.А. Хорева // Литье и металлургия. – 2012. – № 3. – С. 74–75.
4. **Лазаренков, А.М.** Рассеивание выбросов вредных веществ от источников литейных цехов в окружающей среде / А.М. Лазаренков, С.А. Хорева, В.В. Мельниченко // Литье и металлургия. – 2012. – № 3. – С. 76–78.
5. **Лазаренков, А.М.** Источники и масштабы загрязнения окружающей среды выбросами вредных веществ литейных цехов / А.М. Лазаренков, С.А. Хорева // Литейное производство и металлургия 2015, Беларусь: труды 23-й Междунар. науч.-техн. конф. – Жлобин, 2015. – С. 95–96.
6. **Лазаренков, А.М.** Исследование масштабов загрязнения окружающей среды выбросами литейного производства / А.М. Лазаренков // Литье и металлургия. – 2020. – № 1 – С. 129–139.
7. **Лазаренков, А.М.** О масштабах загрязнения окружающей среды выбросами литейного производства / А.М. Лазаренков // Литейное производство. – 2020. – № 7. – С. 31–34.

REFERENCES

1. **Lazarenkov A.M.** Issledovanie istochnikov litejnyh cekhov i masshtabov zagryazneniya okruzhayushchej sredy vybrosami vrednyh veshchestv [Investigation of the sources of foundries and scales of pollution of the environment with harmful emissions]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2008, no. 2, pp. 124–130.
2. **Lazarenkov A.M., Khoreva S.A., Kalinichenko V.A.** Zagryazneniya okruzhayushchej sredy vybrosami vrednyh veshchestv litejnyh cekhov [Environmental pollution by emissions of harmful substances from foundries]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti v tret'em tysyacheletii: materialy IV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. = Life safety in the third millennium: materials of the IV International scientific and practical conference*. Chelyabinsk, 2009, vol. 2, pp. 97–106.
3. **Lazarenkov A.M., Horeva S.A.** Ocenka vybrosov vrednyh veshchestv ot istochnikov litejnyh cekhov v okruzhayushchej srede [Assessment of harmful substances discharge in environment from sources of foundry shops]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2012, no. 3, pp. 74–75.
4. **Lazarenkov A.M., Horeva S.A.** Rasseivanie vybrosov vrednyh veshchestv ot istochnikov litejnyh cekhov v okruzhayushchej srede [Dispersion of harmful substances discharge from sources of foundry shops in environment]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2012, no. 3, pp. 76–78.
5. **Lazarenkov A.M., Horeva S.A.** Istochniki i masshtaby zagryazneniya okruzhayushchej sredy vybrosami vrednyh veshchestv litejnyh cekhov [Sources and extent of environmental pollution by emissions of harmful substances from foundries]. *Litejnoe proizvodstvo i metallurgiya 2015, Belarus': trudy 23-j Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. = Foundry production and metallurgy 2015, Belarus: proceedings of the 23rd Int. scientific and technical. conf.* Zhlobin, 2015, pp. 95–96.
6. **Lazarenkov A.M.** Issledovanie masshtabov zagryazneniya okruzhayushchej sredy vybrosami litejnogo proizvodstva [Research on the extent of environmental pollution by foundry emissions]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2020, no. 1, pp. 29–139.
7. **Lazarenkov A.M.** O masshtabah zagryazneniya okruzhayushchej sredy vybrosami litejnogo proizvodstva [On the scale of environmental pollution by emissions from foundry production]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry production*, 2020, no. 7, pp. 31–34.