

ской эргономики: тез. докл. конф. – М.: Наука, 2003. – Т.3. С. 64.

10. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабо-

чих местах: СанПин 2.2.4.3359-16. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru/Data1/39/39082/> (дата обращения 09.04.2018).

УДК 621.311

*Макарова Вероника Григорьевна,*  
*обучающаяся гр. РП-15-1,*  
*ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,*  
*e-mail: veronika\_makarova\_97@mail.ru*  
*Дударева Ксения Артёмовна,*  
*ст. преподаватель кафедры «Экология и безопасность деятельности человека»*  
*ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,*  
*e-mail: osya\_88@mail.ru*  
*Малышкина Наталья Александровна,*  
*к.б.н., доцент кафедры « Экология и безопасность деятельности человека»*  
*ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,*  
*e-mail: almana@indox.ru*

**ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ ПРИАНГАРЬЯ ВЫБРОСАМИ ТЭЦ-11  
 (Г. УСОЛЬЕ-СИБИРСКОЕ)**

*Makarova V.G., Dudareva K.A., Malyshkina N.A.*

**POLLUTION OF THE ATMOSPHERE OF PRIANGARIA BY EMISSIONS OF CHPP-11  
 (USOLYE-SIBERIAN CITY)**

**Аннотация.** В статье рассматривается проблема загрязнения окружающей среды в г. Усолье-Сибирское ТЭЦ-11, работающей на углях Забитуйского месторождения, имеющих повышенное содержание серы (4,1 %) и золы (23,0 %). Предлагается замена угля марки ДР Забитуйского месторождения на уголь марки БЗР Тулунского разреза с пониженной зольностью, невысоким содержанием серы и хорошими теплотворными качествами.

**Ключевые слова:** выбросы, оксиды серы и азота, угольная зола, угли марки ДР Забитуйского месторождения, угли марки БЗР Тулунского разреза.

**Abstract.** The article deals with the problem of environmental pollution in the town of Usolye-Sibirskaya CHPP-11, which operates on the Zabituiskiye coal coals, which have an increased sulfur content (4,1%) and ash (23,0%). It is proposed to replace coal from the Zabituiskiye field with coal of the BZR grade of the Tulun section with reduced ash content, low sulfur content and good calorific value.

**Keywords:** emissions, oxides of sulfur and nitrogen, coal ash, coals of the brand DR Zabitui deposit, Coal grade BZR of the Tulunsky section.

Интенсивное использование ископаемого органического топлива (угля, нефти, природного газа) в XX веке привело к загрязнению окружающей среды оксидами серы (SO<sub>2</sub>), азота (NO<sub>x</sub>), а также твердыми зольными частицами, в состав которых входят соединения тяжелых металлов и конденсированные ароматические органические системы, обладающие канцерогенными свойствами. Эти токсичные вещества вызывают гибель растений и подавляют их рост, способствуют увеличению числа заболеваний дыхательной системы у людей и животных. В атмосфере оксиды серы и азота вследствие фотохимических процессов пре-

вращаются в высшие оксиды, являющиеся причиной кислотных дождей, из-за которых разрушаются сооружения из известняка и мрамора, закисляются почвы, повышается коррозионный износ материалов. Во всех промышленно развитых странах, в том числе в России, установлены низкие значения предельно допустимых концентраций (ПДК) летучей золы, оксидов серы и азота в воздухе (табл. 1), причем их нижние пределы периодически пересматриваются в сторону уменьшения [1].

В последние годы ведутся интенсивные работы по усовершенствованию топочной техники и созданию принципиально но-

вых технологий сжигания топлива, направленные на сокращение образования оксидов азота в процессе горения.

На действующих пылеугольных и мазутных котлах активно внедряются малотоксичные горелки и технологии многоступенчатого

сжигания топлива [5], а новые газотурбинные установки оснащаются малотоксичными камерами сгорания, обеспечивающими концентрацию  $\text{NO}_x$  в дымовых трубах на уровне 9-12 млн.  $^{-1}$  [6].

Таблица 1  
Предельно допустимые концентрации зольных частиц, оксидов серы и азота в воздухе,  $\text{мг}/\text{м}^3$ , нормативы

Вредные вещества	1970 г.	1990 г.	2005 г.	2010 г.
Оксиды серы	10	0,500	-	-
Монооксид азота	30	0,400	-	-
Диоксид азота	9	0,085	-	-
Угольная зола (твердые частицы, размер менее 10 мкм)	-	0,15-0,04	0,05	0,02

Кроме того, вводятся в действие технологии нового поколения – парогазовые установки, сжигающие уголь в кипящем слое под давлением, и парогазовые установки с внутрицикловой газификацией угля. При паровой газификации угля получается генераторный газ, а значительная часть топливного азота и серы (от 66 до 94 %), тяжелые металлы и другие зольные частицы остаются в жидких компонентах рабочего цикла или в твердых отходах. В результате этого в отходящих газах обеспечиваются низкие концентрации как оксидов азота ( $50-150 \text{ мг}/\text{м}^3$ ), так и серосодержащих соединений (до  $80 \text{ мг}/\text{м}^3$ ) и зольных частиц (до  $3 \text{ мг}/\text{м}^3$ ) [7].

Хотя в настоящее время значительная доля электроэнергии производится за счёт относительно чистых видов топлива (газ, нефть), однако закономерной в РФ является тенденция уменьшения их доли.

В 2017 году, как и в предыдущем году, в экологической зоне атмосферного влияния (ЭЗАВ) Иркутской области экстремально высокого загрязнения атмосферного воздуха не зарегистрировано. В г. Иркутске уровень загрязнения атмосферного воздуха оценивался как очень высокий; в городах Черемхово и Шелехов – высокий; в городах Ангарск и Усолье-Сибирское – повышенный. Веществами, определяющими высокое загрязнение атмосферного воздуха в этих городах, являются: бенз(а)пирен, формальдегид, взвешенные вещества, диоксид азота, а в г. Шелехове дополнительно – фторид водорода. Средние за год концентрации бенз(а)пирена во всех

городах ЭЗАВ в 2017 г. превышали допустимую норму в 2,0-2,7 раза.

Максимальные среднемесячные концентрации по бенз(а)пирену превышали ПДК во всех городах ЭЗАВ и достигали 14,9-9,5 ПДК (максимум – в г. Иркутске). В гг. Иркутск, Ангарск, Усолье-Сибирское, Шелехов максимальные разовые концентрации по диоксиду азота превышали ПДК в 1,4-4,6 раза; по оксиду углерода – в 1,2-4,8 раза; по взвешенным веществам – в 1,4-3,6 раза; по формальдегиду – в 2,0-2,4 раза. Максимальные разовые концентрации сероводорода превышали ПДК в 3,1-3,8 раза в гг. Иркутск и Усолье-Сибирское, соответственно; хлорида водорода в г. Усолье-Сибирское – 1,2 ПДК; сажи в г. Иркутск – 3 ПДК; фторида водорода в г. Шелехов 2,4 ПДК [8].

Выбросы в атмосферу от источников предприятий теплоэнергетики ПАО «Иркутскэнерго» в целом за период 2012-2017 г.г. увеличились на 4,04 %, хотя по отношению к 2016 г. в прошедшем году снизились на 3,4 % (табл. 2).

Качество атмосферного воздуха характеризуется комплексным показателем – индексом загрязнения атмосферного воздуха (ИЗА), который учитывает примеси, вносящие наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха в данной местности [2]. ИЗА – расчетная величина, характеризующая загрязнение атмосферного воздуха, зависит от среднегодовой концентрации и учитывает вклад 5-ти основных загрязняющих веществ, их концентрации, класса опасности и ПДК. Для расчета используются средние значения

концентраций загрязняющих веществ в долях ПДК, приведенные к вредности диоксида серы. Для выработки списка 5-ти примесей, вносящих наибольший вклад в загрязнение

атмосферного воздуха и составляющих ИЗА конкретного года, проводится расчет ИЗА по всем определяемым ингредиентам [3].

Таблица 2

Выбросы от источников предприятий теплоэнергетики Иркутской области в 2012-2017 гг.

Загрязняющие вещества	Выброшено в атмосферу, тыс. т						Изменение к 2016 г.	
	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	тыс. т	%
Всего ЗВ	154,4	179,4	149,2	151,9	166,5	160,9	-5,633	-3,4
в том числе:								
твёрдых	41,6	45,8	35,8	35,3	37,9	35,3	-2,656	-7,0
газообразных,	112,8	133,6	113,4	116,6	128,6	125,6	-2,977	-2,3
в том числе:								
диоксид серы	73,3	87,7	77,4	86,7	97,0	97,3	0,320	0,3
оксиды азота	37,1	43,7	35,9	29,7	31,4	28,1	-3,279	-10,4
прочие	2,4	2,2	0,095	0,21	0,18	0,16	-0,018	-9,17

Уровень загрязнения атмосферы считается повышенным при ИЗА от 5 до 6, высоким – ИЗА 7-13, и очень высоким – ИЗА не менее 14. Наблюдения за качеством атмосферного воздуха в Усолье-Сибирском осуществляются Федеральным Государственным Бюджетным Учреждением «Иркутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды». Наблюдения проводятся ежедневно в соответствии с требованиями [2] на двух автоматизированных стационарных постах наблюдений региональной наблюдательной сети [6]. По результатам количественных химических анализов проб можно судить о состоянии качества атмосферного воздуха [4].

Наблюдения включают содержание в атмосферном воздухе следующих вредных веществ: пыль, диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота, оксид азота, сероводород, фенол, сажа, хлористый водород, аммиак, формальдегид, бензол, толуол, ксилол, этилбензол, бенз(а)пирен, «тяжелые» металлы (железо, кадмий, магний, марганец, медь, никель и др.).

По данным Управления государственного контроля Министерства сельского хозяйства Иркутской области 58 % загрязнения атмосферного воздуха в городе приходится на автотранспорт. Из промышленных предприятий наибольший вклад в загрязнение окружающей среды вносит ТЭЦ-11, работающая на углях Забитуйского месторождения,

имеющих повышенное содержание серы (4,1 %) и золы (23,0 %).

Угли Забитуйского месторождения имеют гумусовую природу. Они представлены полублестящими (75 %) и полуматовыми (25 %) разновидностями, состоящими из кларена и кларена-дюрена. Минеральные примеси в углях в общем количестве от 10 до 16 % представлены глинистым минералом, сульфидами железа и другими инертными примесями, среди которых глинистый материал составляет 9-12 %. По качественным показателям угли однородные, низкосреднезольные, сернистые высококалорийные, характеризующиеся пониженной спекаемостью и склонностью к самовозгоранию.

Теплотехнические характеристики угля:

- низшая теплота сгорания угля  $Q^H = 20,9$  МДж/кг (4 997,6 ккал/кг);
- зольность угля  $A = 23,0$  %;
- содержание серы  $S = 4,1$  %.

Методы снижения выбросов диоксида серы без изменения существующей технологии существуют следующие:

- использование топлива с меньшим содержанием серы (сжигание малосернистых углей, использование мазута с низким содержанием серы, переход на сжигание природного газа).

- использование золоулавливающих установок для улавливания сернистого ан-

гидрида с помощью двухступенчатой системы золоулавливания [29].

Выбросы вредных веществ в атмосферу при сжигании угля марки ДР Забитуйско-

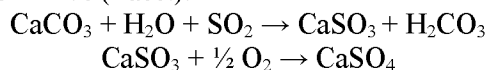
го месторождения на ТЭЦ -11 представлены в табл. 3.

Таблица 3

Выбросы вредных веществ в атмосферу при сжигании угля марки ДР Забитуйского месторождения

Количество вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу				
Ед. изм.	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	Зольные твёрдые частицы
т/год	76 746,61	40 445,46	3 696,63	55 012,14
г/с	4 934,19	2 600,32	237,66	3 536,84

Для поглощения диоксида серы разработана технологическая схема и аппаратное оформление мокрой известняковой технологии [33]. Известняк (CaCO<sub>3</sub>) мелкого помола из силоса подают в ёмкость для приготовления известнякового молока с концентрацией 15 % (масс.).



Преимущества способа:

- доступность сорбента, широко распространённого природного известняка;
- простота технологической схемы;
- получаемый продукт утилизации диоксида серы – двухводный сульфат кальция является сырьем в производстве вяжущего строительного материала гипса. При отсутствии потребителя его можно сбрасывать вместе с золой на золоотвал, не загрязняя грунтовые воды и способствуя герметизации днища хранилища.

В настоящее время ведутся лабораторные исследования по применению аммиачно-сульфатной технологии для очистки дымовых газов от диоксида серы с целью предотвращения образования аэрозолей сульфата аммония на выходе очищенных газов в атмосферу. Ведутся работы по получению сульфата магния в процессе очистки дымовых газов от диоксида серы магнезитом или оксидом магния. Сульфат магния является ценным высокоэффективным удобрением; он также применим для производства высокопрочного бетона [3].

Для снижения выбросов оксидов азота от котлов ТЭЦ-11 внедряется технологический метод подавления образования оксидов азота. Сущность метода заключается в перераспределении вторичного воздуха по внутреннему и наружному каналам горелок без

ухудшения топочного режима и снижения экономичности котла. Эффект снижения выбросов оксидов азота достигается при увеличении скорости наружного потока вторичного воздуха, окружающего поток аэросмеси (топливо-воздух), до скорости этой аэросмеси. Наличие в горелках двух независимых регулируемых каналов вторичного воздуха позволяет добиться снижения интенсивности смесеобразования с потоками вторичного воздуха на начальном участке факела горения, что обеспечивает снижение количества образующихся оксидов азота. Для выполнения этого мероприятия требуется реконструкция горелок, состоящая из наращивания длины обечайки, делящей каналы вторичного воздуха на внутренний и наружный [28].

В последние годы в ряде стран (Японии, США, Германии, России, Польше и др.) ведется разработка новых методов и аппаратов, рассчитанных на одновременную очистку дымовых газов от нескольких загрязнителей. Новые технологии более компактны и менее затратны.

Для большинства стран главным топливным ресурсом на сегодняшний день остается уголь, месторождения которого в отличие от запасов нефти и газа есть во всех регионах мира. Поэтому в большинстве стран мира полная замена угля на природный газ на ТЭС не представляется экономически обоснованным мероприятием [1].

В г. Усолье-Сибирское при замене угля марки ДР Забитуйского месторождения на уголь марки БЗР Тулунского разреза с пониженной зольностью, невысоким содержанием серы и хорошими теплотворными качествами выбросы диоксида серы в атмосферу города могут снизиться на порядок, золы практически в 2 раза (табл. 4). Значительно

уменьшатся выбросы оксидов азота и углерода. Однако в последние годы востребованность Азейского угля снизилась из-за его более высокой цены. Пик добычи высококачественного угля на Азейском месторождении (Тулунский разрез) пришёлся на 80-е годы прошлого столетия: снимали «самые сливки» – мощные слои угля, которые лежали ближе к поверхности земли.

К 2010 г. объёмы начали падать: вскрыша увеличилась, а запасы сократились, соответственно себестоимость угля возросла. Потребители перешли на более дешёвые марки углей, сжигание которых многократно увеличивает выбросы вредных веществ в атмосферу.

Таблица 4

Выбросы вредных веществ в атмосферу при сжигании угля марки БЗР Тулунского разреза

Количество вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу				
Ед. измер.	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	Зольные твёрдые частицы
т/год	7 487,47	31 683,25	2 895,78	30 137,08
г/с	481,38	2 036,98	186,18	1 937,57

Теплотехнические характеристики угля:

- низшая теплота сгорания угля  $Q^H = 16,38$  МДж/кг (3 914,914 ккал/кг);
- зольность угля  $A = 12,6$  %;

– содержание серы  $S = 0,4$  %.

Сокращение выбросов в атмосферу в рамках предложенного мероприятия представлено в табл. 5.

Таблица 5

Сокращение выбросов в атмосферу после замены угля марки ДР Забитуйского месторождения на уголь марки БЗР Тулунского разреза

Вещество	Сокращение выбросов	
	т/год	г/с
Оксиды серы (SO <sub>x</sub> )	69 259,14	4 452,81
Угольная зола	24 875,06	1 599,27
Оксиды азота (NO <sub>x</sub> )	800,85	51,48
Оксиды углерода (CO <sub>x</sub> )	8 762,21	563,34

«Ликвидация накопленного экологического ущерба» позволит к 2021 г. привлечь и освоить инвестиционные ресурсы, снизить объёмы запланированного негативного воздействия на окружающую среду. В рамках проводимого мероприятия на предприятии необходимо провести модерниза-

цию оборудования с переводом предприятия на высококачественный уголь марки БЗР Тулунского разреза, что с учётом оценки влияния на окружающую среду ТЭЦ-11 позволит значительно улучшить экологическую обстановку в регионе.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ежова Н.Н., Власов А.С., Делицын Л.М. Современные методы очистки дымовых газов. // Экология пром. произ-ва. 2007. № 3. С. 50-57.
2. РД5 2.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы».
3. Автономов А.Б. Мирровая энергетика: состояние, масштабы, перспективы, устойчивость развития, проблемы экологии, ценовая динамика топливно-энергетических ресурсов

// Электрические станции. 2003. № 5. С. 55-64.

4. Саламов А.А. Опыт энергетических компаний США и центр. Европы по защите О.С. // Теплоэнергетика. 2002. № 2. С. 76-78.
5. Котлер В.Р. Энергетика Германии: итоги 1995 г. // Электр. станции. 1997. № 6. С. 64-67.
6. Котлер В.Р. Одновременное улавливание оксидов азота и серы из дымовых газов

котлов // Там же. № 2. С. 59-67.

7. Парогазов. эл/станции США (статистика за 2001 г.) // Там же. 2003. № 4. С. 71-74.

8. Сборник энергосберегающих мероприятий. // Под редакцией М.О. Решетникова: практическое руководство. М.: 2014. 453 с.

9. Саломатов В.В. Природоохранные технологии на тепловых и атомных электро-

станциях. Новосиб-к: Изд-во НГТУ, 2006. 853 с.

10. Системные исследования проблем энергетики / под ред. Н.И. Воропая. Новосибирск: Наука. Сиб. изд. фирма РАН, 2000. 558 с.

11. Энергетика XXI века: Условия развития, технологии, прогнозы / отв. ред. Н.И. Воропай. Новосибирск: Наука, 2004.

УДК 699.86

Старцев Ян Вячеславович,

магистрант кафедры «Экология и безопасность деятельности человека»,  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»

Филиппова Тамара Матвеевна,

к.х.н., доцент кафедры «Экология и безопасность деятельности человека»,  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»

## ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ В ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЯХ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Starcev I.V., Filippova T.M.

### ТHERMAL INSULATION IN ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION

**Аннотация.** В статье рассмотрено значение теплоизоляции ограждающих конструкций зданий как основного аспекта энергосбережения в сфере строительства и как одного из ключевых элементов в решении глобальной экологической проблемы энергосбережения в мире, порождающей необходимость снижения энергопотребления для сохранения окружающей среды и условий жизнедеятельности человечества.

**Ключевые слова:** строительство, тепловая защита зданий, энергосбережение, энергоэффективность, экологические проблемы.

**Abstract.** The article discusses the importance of thermal insulation of building shells as the main aspect of energy saving in the construction industry and as one of the key elements in solving the global environmental problem of energy saving in the world, which leads to the need to reduce energy consumption to save the environment and living conditions of mankind.

**Keywords:** construction, thermal protection of buildings, energy savings, energy efficiency, environmental issues.

Говоря о сфере строительства, как одном из основных потребителей энергии – необходимо позаботиться о создании более энергоэффективных методов строительства в условиях мировой проблемы энергосбережения. Так, согласно статистике Европейского сообщества, примерно треть потребляемой энергии идет на обогрев помещений. При этом, по оценкам специалистов, для 80-90% фонда эксплуатируемых на данный момент зданий характерно «расточительное» потребление энергии [1]. Из этого можно сделать вывод, что в строительстве ресурсы для максимального сбережения энергии необходимо искать в самих зданиях, независимо от того, являются ли они реконструируемыми или строящимися [1].

Так, уже на протяжении многих лет в Европе и Скандинавских странах применяют энергосберегающие технологии при строительстве и реконструкции зданий. Созданы необходимые нормативы, обеспечивающие использование эффективных строительных конструкций с гарантированным выполнением требований по экономии энергии. Создание подобных документов значительно способствовало становлению энергосберегающего строительства, повышению уровня его энергоэффективности.

Так, например, согласно европейскому стандарту EN 15603 «Энергоэффективность зданий. Общее потребление энергии и определение номинальных энергетических характеристик», оценка общего энергопотребления здания складывается из таких состав-