

УДК 697.9

Оценка влияния работы льдоуборочного комбайна на качество воздуха в зале крытого ледового катка

Русаков С.В. rsvit@mail.ru

ООО «РУСЬЭНЕРГОМОНТАЖ»

190020, Россия, Санкт-Петербург, Старо-Петергофский пр., д.22

В работе рассматриваются основные факторы влияния работы льдоуборочных машин на качество воздушной среды в залах крытых объектов с ледовыми площадками. Ядовитые примеси, содержащиеся в выхлопных газах от двигателей внутреннего сгорания оборудования поступают в обслуживаемый объем и требуют удаления посредством вентиляции необходимой интенсивности. Рассматриваются закономерности распространения примесей в объеме зала с учетом ограждения ледовой площадки. Даются методики расчета концентрации вредных веществ в результате накопления при циклической работе катка с чередованием обработок льда и тренировочных занятий. Показывается зависимость изменения концентрации вредных веществ в объеме зала от интенсивности систем вентиляции при нестационарном процессе. Приводятся расчеты содержания оксида углерода CO и углекислого газа CO₂ для типичного тренировочного катка с применением конкретной модели льдоуборочного комбайна современного производства. Предлагаются рекомендации по поддержанию качества воздушной среды при эксплуатации оборудования для ухода за ледовой поверхностью.

Ключевые слова: ледовый каток, ледовая арена, льдоуборочный комбайн, вентиляция и кондиционирование ледовых арен и катков, качество воздуха в зале ледового катка, загрязнения воздуха в зале ледового катка.

DOI:10.17586/2310-1148-2016-9-4-33-42

Assessment of the impact of the ice resurfacer the air quality in the hall of an indoor ice rink

Rusakov S.V. rsvit@mail.ru

RUSENERGOMONTAZH Ltd.

190020, St. Petersburg, Russia, Ave. Staro-Petergofsky, 22

The paper discusses the main factors of influence working ice machines on air quality in the halls of indoor objects with ice arenas. Poisonous impurities contained in exhaust gases from combustion engines of the equipment received in the accepted volume and require removal by ventilation rate required. The paper considers regularities of distribution of impurities in the volume of the room given the fence of the ice rink. Are methods of calculating the concentration of harmful substances in the result of accumulation during cyclical rink with treatments of ice and training sessions. The dependence of changes in the concentration of hazards in the volume of the hall to the intensity of ventilation at non-stationary process. Gives calculations of carbon monoxide CO and carbon dioxide CO₂ for a typical training rink with the use of a particular modern ice resurfacer. Recommendations for the maintenance of air quality when the equipment is operated for the care of the ice surface.

Keywords: ice rink, ice arena, ice resurfacer, ventilation and air conditioning ice arenas and ice rinks, the air quality in the ice rink, air pollution in the ice rink.

Сегодня невозможно представить работу ледового катка без специальных машин для обработки льда, получивших название «льдоуборочный комбайн» или «Resurfacer»(англ.).

Родоначальником этого оборудования считается Фрэнк Замбони, создавший первый в мире агрегат для обработки льда в 1948 году, затем, в 1953 году, получивший в США патент на это изобретение. Сегодня «Замбони» – наиболее известная марка льдообрабатывающих машин, обслуживающих ледовые площадки.

В России также широко применяется аналогичное оборудование под марками «Олимпия», «Энго», «Дюпон» и некоторые другие.



Современный льдоуборочный комбайн является специализированным агрегатом, который выполняет комплекс операций, начиная от подрезки верхнего отработанного слоя льда, промывки ледовой поверхности с удалением грязи, и заливки нового чистого слоя с последующей полировкой. Заливка осуществляется горячей водой, которая расплавляет и выравнивает поверхность льда, убирая возникшие в процессе эксплуатации микротрещины и нормализуя кристаллическую структуру.

Наиболее ходовые модели комбайнов имеют двигатели внутреннего сгорания, работающие на бензине, дизельном топливе или природном газе. С выхлопными газами наряду с безвредными для человека азотом (N_2), парами воды (H_2O), углекислым газом (CO_2) в воздух ледовой арены выделяются и ядовитые вещества, такие как оксид углерода (CO), окислы азота (NO_x), двуокись серы (SO_2), частично несгоревшие углеводороды, а также копоть и сажа. Объем эмиссии вредных веществ зависит от рабочего объема, мощности двигателя, степени его технического совершенства, режима работы, вида используемого топлива и ряда других факторов. Присутствие перечисленных вредных компонентов в воздухе приносит вред здоровью спортсмена, для них установлены значения предельно допустимых концентраций. Наиболее действенный способ борьбы с вредными примесями в воздухе в условиях катка - эффективная вентиляция с достаточной для разбавления концентраций и удаления примесей подачей наружного воздуха.

С другой стороны, с наружным воздухом в теплое время года поступает значительный объем избыточной влаги, так как влагосодержание наружного воздуха в течение продолжительного периода больше чем требуемое влагосодержание в объеме зала катка. Длительность такого периода в зависимости от местоположения катка в пределах России может составлять от 5 до 10 месяцев в году. Удаление избытков влаги требует применения дорогостоящего осушительного оборудования и связано со значительными энергетическими затратами. По этой причине подачу наружного воздуха в объем зала стараются минимизировать.

Изучению проблем качества воздушной среды в залах ледовых катков последние несколько десятков лет уделяется серьезное внимание в странах, где популярны ледовые виды спорта и функционирует большое количество крытых ледовых объектов.

По результатам наблюдений применение льдоуборочной техники на основе несовершенных двигателей внутреннего сгорания в совокупности с неэффективной вентиляцией приводит к недопустимым уровням загрязнений воздушной среды в залах и многочисленным симптомам нарушения здоровья у спортсменов. Так по материалам [1] из 45 обследованных в 1989 году в провинции Квебек в Канаде ледовых арен, в 23 наблюдалось превышение значения концентрации CO выше 25 ppm (миллионная доля по объему или $см^3/м^3$). По другим данным [2] в воздушной среде 58 ледовых залов, обследованных с 1971 по 2004 г.г. в Северной Америке средние значения измеренных концентраций CO во время матчей укладывались в диапазон $5 \div 130 \text{ мг}/м^3$, максимальные значения по замерам, выполненным сразу после обработки льда механизмами достигали $230-290 \text{ мг}/м^3$! Не менее значительные превышения допустимых концентраций отмечались и по другому опасному газу - NO_2 .

В соответствии с ГОСТ 12.1005-88 [3] оксид углерода и оксиды азота относятся к веществам с остронаправленным механизмом действия, требующим автоматического контроля за их содержанием в воздухе, значения предельно допустимой концентраций в воздухе рабочей зоны составляют: для CO - $20 \text{ мг}/м^3$, для NO_x - $5 \text{ мг}/м^3$.

CO в выхлопных газах двигателей образуется в результате неполного сгорания топлива, его концентрация увеличивается с понижением рабочей температуры в двигателе, при повышении температуры растет содержание NO_2 [4].

По данным [5] на 332 ледовых аренах, обследованных в 9 странах в 1997 году, среди типов двигателей льдоуборочных комбайнов 59% составляют двигатели внутреннего сгорания, использующие газ пропан, 28% - бензиновые двигатели, 10% - дизельные и только 3% - электродвигатели на аккумуляторных батареях.

Бензиновые двигатели работают при относительно низкой температуре горения топливной смеси, соответственно выделяют больше CO . Двигатели на природном газе настроены на более высокую температуру, выделяют большее количество оксидов азота и требуют усиленного контроля по концентрации именно NO_x в выхлопных газах. Наиболее экологичными в работе безусловно являются комбайны с электродвигателями, однако, их стоимость заметно выше своих комбайнов с двигателями внутреннего сгорания, поэтому при всех явных преимуществах, электрические машины не получили желаемого широкого применения.

В публикациях, посвященных проблеме загрязнений воздуха в крытых ледовых объектах от использования льдоуборочной техники, приводятся и рекомендации по нормализации показателей качества воздушной среды.

Так Американское Общество по Технике Безопасности [6] наиболее эффективными мерами по снижению уровня содержания CO и NO_x считает переход на использование электрических машин, а также следование рекомендациям стандарта Американского Общества Инженеров по Отоплению, Охлаждению и Кондиционированию [7] по обеспечению минимального уровня вентиляции в игровой зоне спортивной арены. В соответствии с [7] для обеспечения приемлемого качества внутреннего воздуха в зону дыхания спортсменов следует подавать не менее $1,5 \text{ л}/с \cdot м^2$ или $5,4 \text{ м}^3/ч \cdot м^2$ наружного воздуха, что для хоккейной площадки Европейского образца $60 \cdot 30 \text{ м}^2$ составляет величину $9720 \text{ м}^3/ч$.

При использовании машин для обработки льда с бензиновыми или газовыми приводами, рекомендуется постоянно контролировать уровень основных вредных примесей поддерживая его в безопасных для здоровья пределах: $CO \leq 20$ ppm, $NO_x \leq 0,1$ ppm[6]. Измерения следует проводить внутри площадки на высоте бортов. Время каждого использования льдуборочной техники необходимо ограничить 20 минутами начиная со второй обработки и до окончания рабочего дня. Двигатели внутреннего сгорания следует оборудовать трехкомпонентными каталитическими конвертерами, регулярно проводить техническое обслуживание агрегатов с контролем содержания вредных веществ в выхлопных газах.

Кроме того, требуется производить прогрев двигателя комбайна до выезда его в спортивную зону для выхода мотора на оптимальный режим работы. При недостаточной вентиляции игровой площадки на время работы техники зрителей и спортсменов следует удалить из зала, открыть проемы в бортах ограждения и двери в зал для увеличения интенсивности воздухообмена[6].

В работах [8,9] анализируется влияние интенсивности и эффективности схем вентиляции на качество воздушной среды в залах крытых ледовых катков с применением CFD –моделирования процессов распространения CO в результате работы комбайнов. Так при схеме вентиляции, изображенной на рис.2 получены зависимости распределения концентраций газа по высоте помещения -рис.1.

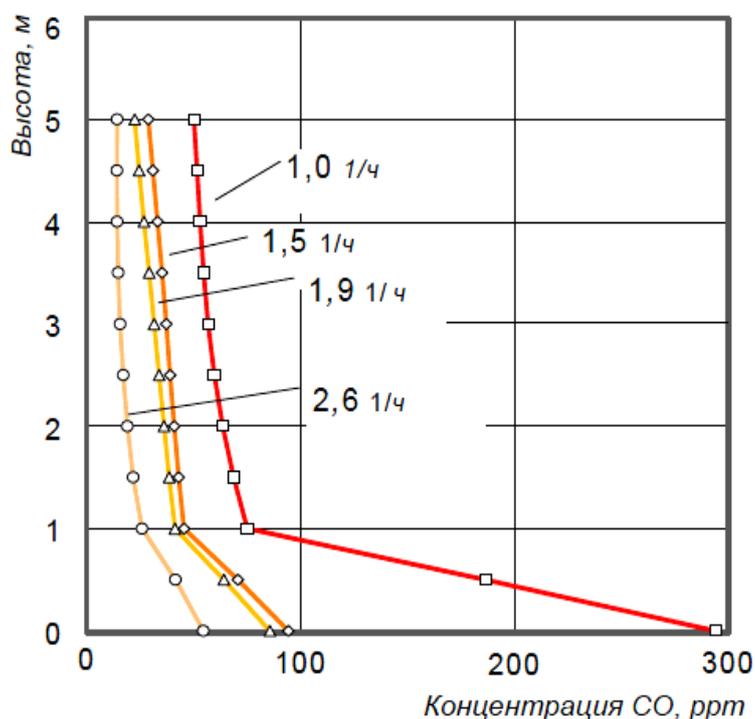


Рис. 1.

Распределение концентраций CO по высоте в центре ледовой площадки в зависимости от кратности воздухообмена по материалам [8,9]

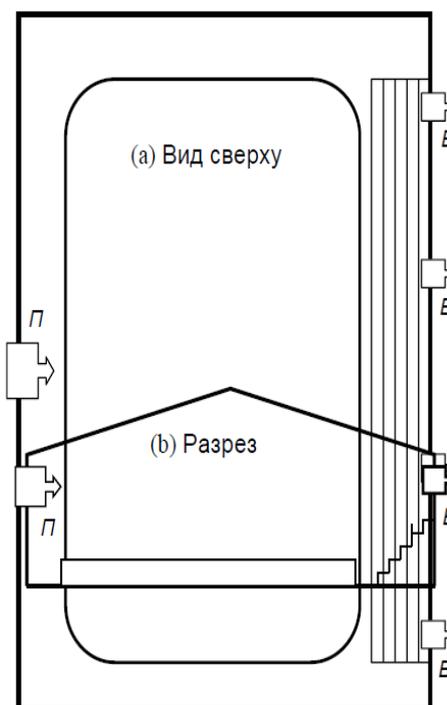


Рис. 2.

Схема организации воздухообмена в объеме зала ледового катка

В рассмотренной модели выделение CO представлено условным источником, перемещающимся у поверхности льда по алгоритму, отражающему реальное передвижение льдуборочного комбайна. Рассматривался стационарный процесс с постоянным выделением газа и постоянной работой вентиляции, что также не совсем соответствует реальной работе катка. Учитывая такую постановку исследований неправильным было бы напрямую распространять полученные результаты на определение требуемых норм воздухообмена в ледовых залах. Для получения более достоверных данных расчет следовало бы вести для реального циклического процесса, когда комбайн работает ограниченное время (12-15 минут тратится на 1 обработку), затем система вентиляции уменьшает концентрацию примеси до следующего выезда машины.

Анализ профилей концентраций по высоте (рис.1) позволяет сделать вывод, что в процессе обработки в объеме ограждающих площадку бортов формируется зона повышенного содержания вредных примесей, концентрация которых увеличивается к поверхности. С увеличением кратности воздухообмена градиент концентрации у поверхности уменьшается, что связано с увеличением интенсивности перемешивания воздушных

масс в объеме бортов, при увеличении расхода воздуха в приточной струе, при этом эффективность вентиляции при столь несовершенной схеме (рис. 2) улучшается.

Для нестационарного процесса выделения вредных веществ за промежуток времени $d\tau$ уравнение балансов:

$$M d\tau + L_n C_n d\tau - L_n C d\tau = V dC \quad (1)$$

где: M – масса поступающей вредности в помещение в единицу времени $d\tau$, мг/ч; L_n – расход приточного воздуха, м³/ч; C – средняя по объему концентрация вредности в воздухе помещения, мг/м³; C_n – концентрация вредности в приточном воздухе, мг/м³; V – объем помещения, м³.

Уравнение (1) для массовых концентраций строго соблюдается, когда средняя температура воздуха в помещении и температура приточного воздуха одинаковы. При разнице температур между нормальными условиями, для которых в справочной литературе приводятся базовые значения выделений вредностей и концентраций (+20°C), и расчетной температурой воздуха в зале крытого ледового катка (+14°C), плотность воздуха отличается всего на 2%, так что в дальнейших расчетах этой разницей можно пренебречь.

Решение уравнения относительно текущей концентрации, полученное интегрированием по времени имеет вид:

$$C = (C_n + M/L_n) + [(C_n + M/L_n) - C_0] \exp(-L_n \tau / V) \quad (2)$$

где: C_0 – концентрация вредности в начальный момент времени, мг/м³; τ – текущее время, ч.

Для установившегося (стационарного) процесса, когда $C = const$, уравнение (1) преобразуется к известной формуле И. 2 из [10] для расчета расхода приточного воздуха по массе выделяющихся вредных веществ:

$$L_n = M / (C - C_n) \quad (3)$$

В стационарном процессе в отличие от нестационарного, установившийся в результате выделения вредности уровень концентрации не зависит от объема помещения V , в котором это вещество выделяется.

Проведем с использованием формулы (2) расчет изменения по времени концентрации СО в течение одного цикла функционирования катка, начиная с обработки льда комбайном, затем работа зала в режиме тренировки хоккеистов. Рассмотрим тренировочный каток без зрителей с размерами зала 36*66*9 (Н) м, с ледовой площадкой 30*60 м. Внутренний объем зала составляет около 21000 м³. Газ СО выделяется комбайном с двигателем внутреннего сгорания в процессе обработки льда, длительность которой составляет 12 минут. Объем эмиссии составляет 200 мг/с (аналогично принятому значению в расчетах [8,9]). Вентиляция работает постоянно.

Расчет проводим на 3 режима вентиляции: 1 – $L_n = 21000$ м³/ч, что обеспечивает 1– кратный в час воздухообмен в объеме зала (приток осуществляется только наружным воздухом); 2 – $L_n = 10500$ м³/ч или 0,5 крат в час; 3 – $L_n = 4000$ м³/ч, что соответствует подаче санитарной нормы наружного воздуха 80 м³/ч для 50 спортсменов (часто встречающееся во многих проектах минимальное значение, рассчитанное на основании [11]). Величина концентрации СО в наружном воздухе принята в соответствии с [12] как для небольшого города $C_n = 3,0$ мг/м³, это же значение принято за начальный уровень C_0 . ПДК в соответствии с [3] составляет $C_{пдк} = 20,0$ мг/м³. На рис.3 представлены результаты расчетов для средней концентрации газа в объеме зала.

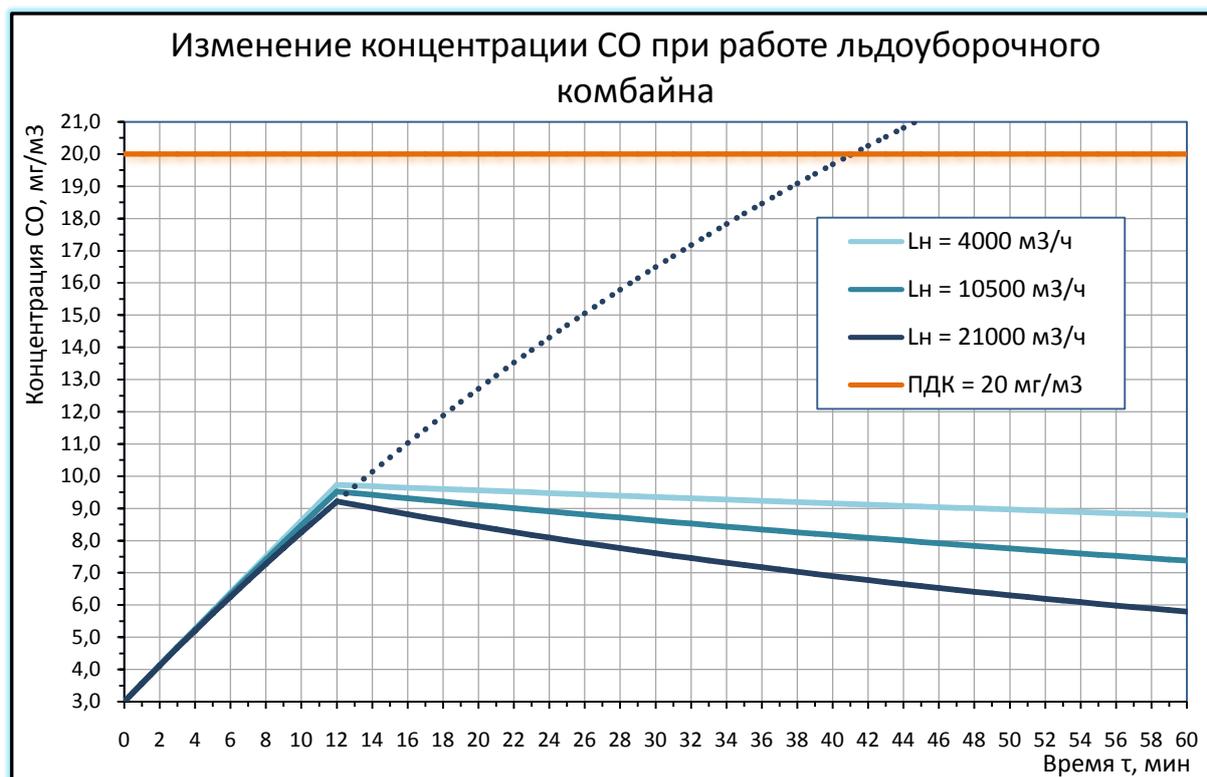


Рис. 3. Изменение по времени средней по объему концентрации CO в зале тренировочного катка в результате работы льдоуборочного комбайна с бензиновым двигателем в зависимости от интенсивности вентиляции.

Расчетное время работы комбайна – 12 мин, эмиссия CO – 200 мг/с (720 г/ч).

Пунктиром показана теоретическая динамика увеличения концентрации CO при длительной работе комбайна и расходе приточного/наружного воздуха 21000 м³/ч

Из анализа результатов видно, что при первой обработке льда концентрация оксида углерода в объеме зала благодаря выхлопам от двигателя комбайна ощутимо возрастает, хотя за 12 минут работы далеко не успевает достигнуть опасных значений. Если бы процесс продолжался дальше, то при производительности системы вентиляции по наружному воздуху 21000 м³/ч (соответствует 1-кратному воздухообмену в зале) при расчетных показателях эмиссии, ПДК будет превышена на 41-й минуте. При типичной 12-минутной длительности работы уровень достигаемой концентрации слабо зависит от воздухообмена, однако концентрация CO после вентилирования в течении времени до следующей обработки (через час после начала первой) ощутимо зависит от интенсивности вентиляции, остаточная концентрация тем выше, чем меньше кратность воздухообмена. Для определения расчетных параметров вентиляции по не превышению ПДК расчет следует вести как минимум на суточный цикл работы зала в соответствии с графиком обработки льда комбайном, с учетом накопления выделяемых вредностей от нескольких последовательных циклов работы оборудования.

Надо отдать должное тому, что производители совершенствуют конструкции льдоуборочных машин, одно из основных направлений – уменьшение вредных выбросов от работы двигателей.

Из путей модернизации – совершенствование рабочей и ходовой части, позволяющее применять двигатели меньшего объема и мощности, доводка моторов и оптимизация режимов их работы, а также оснащение агрегатов каталитическими конвертерами-нейтрализаторами. Наиболее эффективными на сегодняшний день для бензиновых двигателей являются 3-компонентные нейтрализаторы с λ- зондом, выполняющие 3 основные функции – управление соотношением воздух/топливо в смеси в камере сгорания (коэффициентом избытка воздуха λ), оптимальным для режима работы двигателя, восстановление оксидов азота NO_x до безвредного азота N₂ и каталитическое дожигание оксидов углерода CO и углеводородов CH_x до углекислоты CO₂ и воды H₂O. Благодаря установленным нейтрализаторам выбросы ядовитых веществ уменьшаются на порядки.

Передовые производители льдоуборочной техники сегодня уделяют пристальное внимание вопросам экологии, особенно учитывая, что оборудование предназначается для работы в закрытых помещениях. Каждая выпускаемая машина комплектуется листом выходного контроля, в котором указаны уровни содержания вредных веществ в выхлопных газах. На рисунке 4 представлена выдержка из такого документа на произведенный одной из ведущих компаний льдоуборочный комбайн с данными по составу и содержанию основных компонентов выхлопных газов, замеренные до и после установленного каталитического конвертера. Рабочий объем двигателя - 2,4 л., топливо – бензин.

ENGINE MODEL: MITSHUBISHI 2.4 LITRE SERIAL NO.: 24M0000211
 TYPE OF FUEL: GASOLINE

THE ABOVE ZAMBONI LEFT THE FACTORY WITH THE FOLLOWING ENGINE SETTINGS:
 IDLE RPM: 1150 MAX. RPM: 2500
 TIMING BASE SETTING AT: 1150 RPM = 8 °
 ELECTRONIC MODULE CONTROL MODEL NO.: E237150SC S/N: 010666
 MIXER MODEL.: X S/N: X
 EPR S/N: X REG. S/N: X ECM MOT FILE NO.: 38901262-6
 CATALYTIC MODEL NO.: 335010541 TYPE: 3-WAY S/N: 1434510187
 HOT TEST PASSED: YES NO

EMISSIONS BEFORE CATALYTIC CONV.							EMISSIONS AFTER CATALYTIC CONV.						
CO ₂ %	CO %	HC PPM	O ₂ %	NO _x PPM	Air Fuel	RPM	CO ₂ %	CO PPM	HC PPM	O ₂ %	NO _x PPM	Air Fuel	RPM
14.01	.520	58	0.35	1277	14.7	2500	14.74	90	7	Ø	5	14.7	2500

NOTE: Readings were taken at 2500 RPM engine loaded. Load created by having control valve dumping at relief valve setting.

NOTE: Do not run machine in this condition for more than 3 - 5 minutes at a time to prevent excessive heating of hydraulic system.

Рис. 4. Фрагмент листа выходного контроля произведенного льдоуборочного комбайна с результатами замеров состава выхлопных газов

По данным производителя общий объем выхлопных газов, выделяемых за 12 минут работы двигателя комбайна - около 40 м³ в пересчете на нормальные условия, что соответствует 200 м³/ч. По показаниям замеров объемная эмиссия CO при работе с каталитическим конвертером составит 18,0 л/ч, без учета конвертера (с неисправным конвертером) объем на порядок больше – 1,04 м³/ч. Соответствующие массовые показатели: 21,0 г/ч – после конвертера и 1211 г/ч – с неработающим конвертером.

На основе приведенных данных по реальному льдоуборочному комбайну проведем с использованием формулы (2) расчеты по изменению концентрации примеси CO в объеме зала крытого ледового катка. Характеристики зала – те же, что и в предыдущих расчетах, концентрация оксида углерода в наружном воздухе также составляет 3,0 мг/м³. Расчет ведется на накопление CO в течение суточного цикла работы катка с регулярной обработкой ледовой поверхности комбайном. Длительность рабочей смены составляет 12 ч. Комбайн выезжает в начале каждого рабочего часа и обрабатывает лед за 12 мин, в течение которых происходит выделение вредности, затем на льду проводятся тренировки до начала следующего часа. После 12 ч работы зал закрывается. Вентиляция работает постоянно и круглосуточно, таким образом во вне рабочее время происходит только вентилирование объема. Результаты расчетов представлены на рисунке 5.

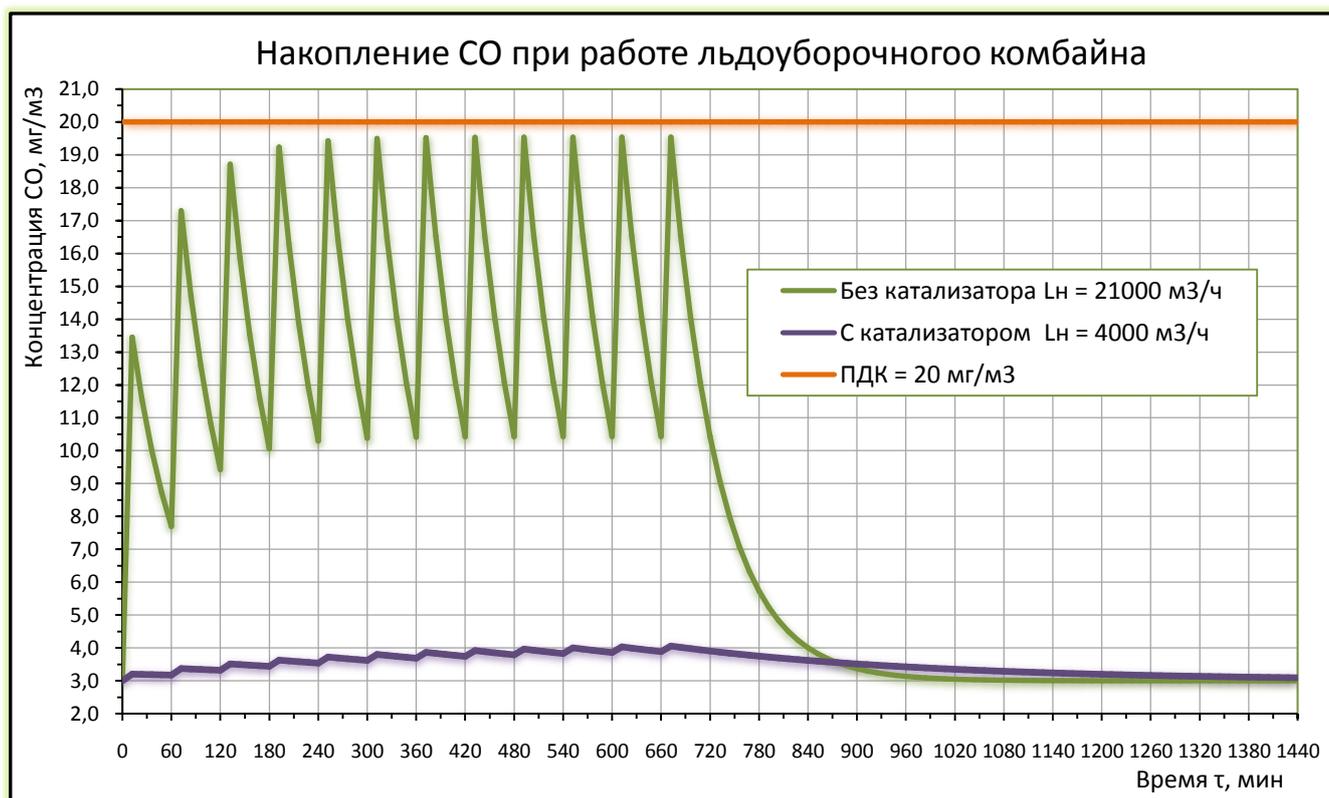


Рис. 5. Изменение по времени средней по объему концентрации CO в зале тренировочного катка в результате работы льдуборочного комбайна с бензиновым двигателем в зависимости от интенсивности вентиляции

По результатам расчетов прослеживается динамика накопления газа CO в результате регулярной периодической работы льдуборочного комбайна с бензиновым двигателем. При этом эффективный каталитический нейтрализатор значительно сокращает выбросы оксида углерода. Для обеспечения безопасного уровня концентрации этой примеси более чем достаточно минимальной вентиляции в объеме подачи санитарной нормы для 50 занимающихся на льду. Если же по какой-то причине на рассматриваемом комбайне нейтрализатор выходит из строя, то для поддержания уровня CO в допустимых пределах в объеме зала рассматриваемого катка интенсивность вентиляции должна быть не менее 1- кратного воздухообмена в 1 час по наружному воздуху.

Двуокись углерода CO₂ хоть и не относится к ядовитым веществам, на нее не установлена величина ПДК, однако ее содержание также является важной характеристикой качества воздушной среды в помещении, особенно спортивного назначения. Содержание CO₂ в выхлопных газах льдуборочного комбайна является достаточно существенным, чтобы провести расчетный анализ с использованием рассматриваемых методик.

В соответствии с данными от производителя (рис.4) объем эмиссии CO₂ при работе рассматриваемого комбайна составляет 29,48 м³/ч, причем установленный нейтрализатор несколько (незначительно) увеличивает выделение за счет более полного дожигания топлива. Характеристики ледового зала, график его работы приняты по предыдущему расчету. Содержание CO₂ в наружном воздухе принято в соответствии с [12] как для небольшого города и составляет 375 ppm (см³/м³). Показателем качества воздушной среды считается величина превышения концентрации относительно наружного воздуха.

В европейском стандарте [12]рассматриваются 4 класса: IDA 1 – высокое качество воздуха в помещении, превышение не более 350 ppm; IDA 2 – среднее качество при разнице 400 ÷ 600 ppm;

IDA 3 – приемлемое качество - 600 ÷ 1000 ppm; IDA 4 – низкое качество соответствует превышению показателя более 1000 ppm.

Кроме льдуборочного комбайна источником выделений CO₂ являются спортсмены, в соответствии с [13] объем выделений от 1 человека, занимающегося физическими упражнениями можно оценить в 19,0 л/ч, в сумме от 50 занимающихся – 0,95 м³/ч. Эти поступления в объем начинаются после работы комбайна в циклическом режиме в соответствии с рабочим графиком объекта в течение 12 часов.

Результаты расчетов концентрации углекислого газа в зале в результате совокупных выделений представлены на рисунке 6.

Как видно, в принятых расчетных условиях при интенсивном использовании комбайна с бензиновым двигателем, оборудованным высокоэффективным нейтрализатором выхлопных газов, поддержание высокого

качества воздуха по содержанию CO_2 в объеме зала катка возможно при достаточно интенсивной вентиляции в размере не менее 1-кратного в час воздухообмена по наружному воздуху. Для среднего и приемлемого уровня в соответствии с [12] достаточно 0,5-кратного, при подаче наружного воздуха в объеме минимальной санитарной нормы для 50 спортсменов качество воздушной среды будет низким, к тому же при такой интенсивности уровень CO_2 не успевает восстанавливаться за время постоянного вентилирования зала в отсутствие нагрузки в течение 12 часов.

Показательным также является то, что в течение первого часа работы катка высокое качество воздуха наблюдается при любом уровне вентиляции, однако в дальнейшем происходит рост концентрации благодаря накоплению примеси, тем более интенсивный, чем меньше воздухообмен.

При использовании комбайна с электрическим приводом минимальной вентиляции на первый взгляд достаточно, однако во внерабочее время при этом не происходит восстановления концентрации до исходных значений. В течение следующих рабочих смен содержание углекислого газа будет расти, а качество воздуха ухудшаться.

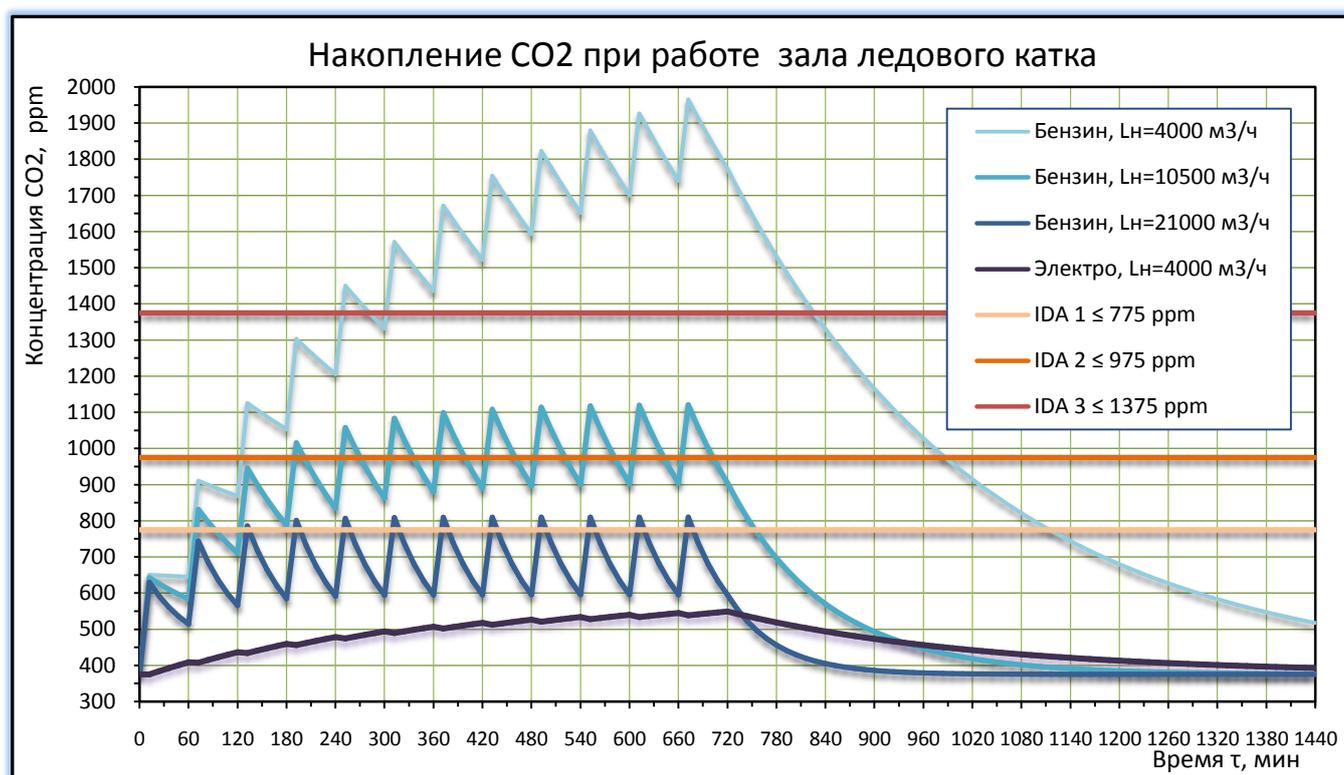


Рис. 6. Изменение по времени средней по объему концентрации CO_2 в зале тренировочного катка в результате работы льдоуборочного комбайна и выделений от спортсменов в зависимости от интенсивности вентиляции.

Нижний график учитывает только выделения от занимающихся, комбайн – с электрическим двигателем.

Горизонтальные линии соответствуют верхним пределам классов качества воздушной среды в помещении в соответствии с [12]

Показательным будет сравнить результаты, полученные на основе методик с учетом динамики процессов накопления CO_2 в объеме (формула (2)), с рассчитанными по (3) (известная всем формула И.2 из [10]).

Объем выделений от комбайна отнесенный к 1 часу:

$M_{\text{CO}_2}^k = 29,48 \cdot 12/60 = 5,896 \text{ м}^3/\text{ч}$, то же от спортсменов: $M_{\text{CO}_2}^c = 0,95 \cdot 48/60 = 0,760 \text{ м}^3/\text{ч}$, Суммарные часовые выделения в объем зала: $M_{\text{CO}_2} = 6,656 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Для обеспечения высокого качества воздуха в соответствии с классификацией [10], типовое значение для превышения сверх концентрации в наружном воздухе $C - C_n = 350 \text{ ppm}$ ($\text{см}^3/\text{м}^3$). При концентрации CO_2 в наружном воздухе $C_n = 375 \text{ ppm}$ требуемый расход приточного воздуха для поддержания расчетного уровня по формуле (3) составит: $L_n = 6,656 \cdot 10^6 / 350 \approx 19000 \text{ м}^3/\text{ч}$. Полученная величина несколько меньше требуемой для однократного воздухообмена в час, но здесь следует учесть, что расчет соответствует статическому режиму, в реальном графике работы катка будут наблюдаться регулярные превышения концентрации CO_2 при среднем уровне 375 ppm. Наглядно эта тенденция представлена на рис. 7.

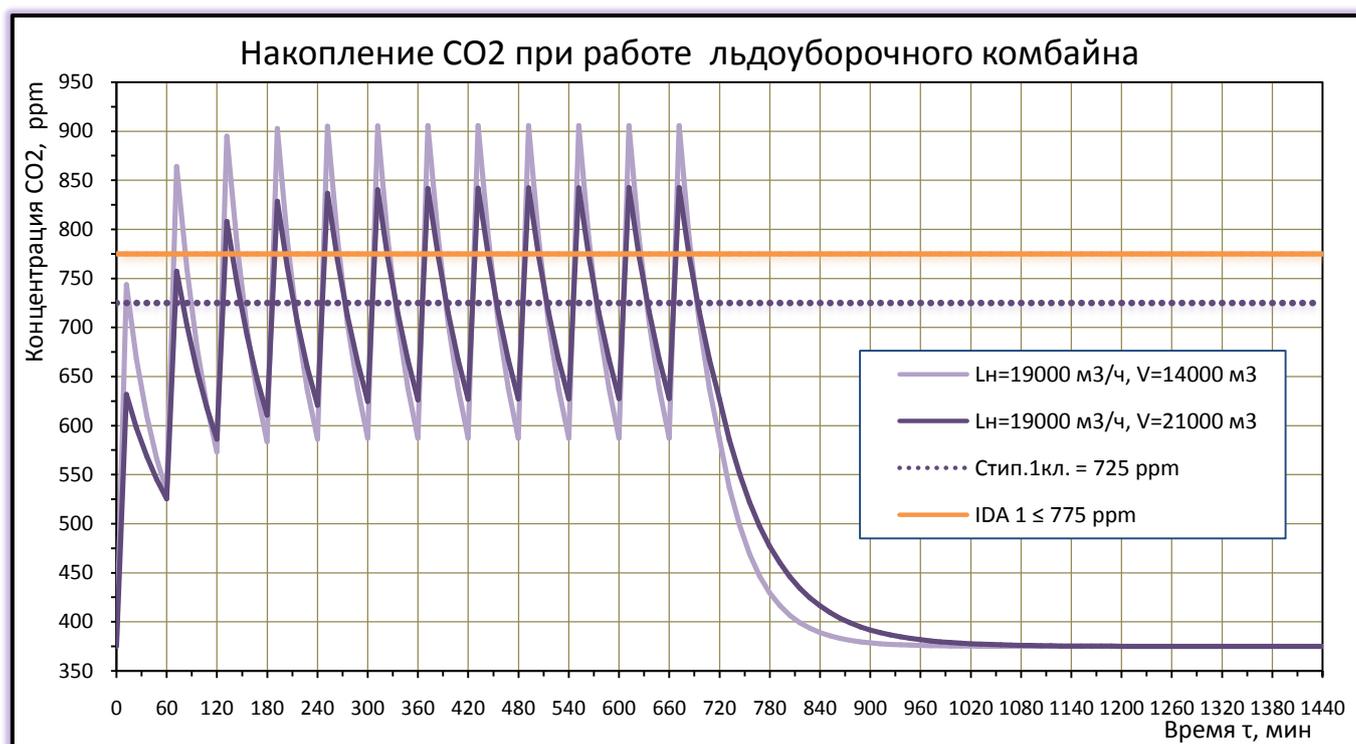


Рис. 7. Динамика изменения средней по объему концентрации CO_2 , в зале тренировочного катка в результате работы комбайна и спортсменов при производительности вентиляции, определенной по формуле(3) из расчета обеспечения типовой величины $C_{ср}$ содержания примеси для 1 класса качества воздуха по [12]

Как отмечалось ранее в формуле (3), отражающей стационарный процесс выделения вредностей влияние объема не учитывается. На рисунке (7) представлены 2 графика нестационарных процессов при одинаковых графиках выделения CO_2 , одинаковых воздухообменах, но для разных объемов зала: 1- $36*66*9$ (Н) m^3 , 2- $36*66*6$ (Н) m^3 . Из сравнения графиков заметно влияние объема зала на динамику изменения концентрации в этом объеме.

Таким образом оборудование для обработки льда с двигателями внутреннего сгорания является источником выделений вредных веществ и в значительной мере влияют на качественные показатели воздушной среды в залах крытых ледовых катков. При выборе оборудования рекомендуется отдавать предпочтение механизмам с электроприводами. Двигатели внутреннего сгорания должны быть оборудованы эффективными нейтрализаторами выхлопных газов. При эксплуатации машин с такими приводами следует выполнять правила эксплуатации, не допуская выезда на площадку с недостаточно прогретым двигателем, сокращая время и частоту обработки льда.

Требуется регулярно выполнять техническое обслуживание оборудования, проводя регулярный контроль уровня выделения вредных веществ.

При расчете производительности систем вентиляции требуется учитывать не только эмиссию ядовитых CO , NO_x , но и объем выделений двигателями углекислого газа CO_2 , обеспечивая кратность воздухообмена, достаточную для поддержания необходимого уровня качества воздуха в объеме зала.



Литература

1. T.W.Pelham, L.E.Holt, M.A.Moss Exposure to carbon monoxide and nitrogen dioxide in enclosed ice arenas /Review, 2012.
2. A.Pennanen Indoor Air Pollution and Health Risks in Finnish Ice Arenas / Academic Dissertation /National Public Health Institute / Kuopio. 2005.
3. ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
4. L.Boettern Atmospheric hazard associated with ice-skating rinks / BIOSYSTEMS/ AN2000-8,1-1-2000.
5. M.Brauer, K. Lee , John D. Spengler, R. O. Salonen , A. Pennanen et al. Nitrogen Dioxide in Indoor Ice Skating Facilities: An International Survey. J Air Waste Manage Assoc. 1997; 47:1095-1102.
6. R.Dobos Public Health. Carbon Monooxide Exposure in Indoor Ice Arenas / The American Society of Safety Engineers / www.asse.org -September 2012.
7. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2010. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.
8. C. Yang, P. Demokritou, Q. Chen, J. Spengler, A.Parsons Ventilation and air quality in indoor ice skating arenas / ASHRAE Transactions. -2000. – 106.
9. C.Yang, P.Demokritou, Q. Chen, J.Spengler Experimental validation of a computational fluid dynamics model for IAQ applications in ice rink arenas, Indoor Air, 11(2)- 2001. 120-126.
10. Свод правил СП60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003 / М.: Минрегион России, 2012.
11. Свод правил по проектированию и строительству. Физкультурно-спортивные залы. СП 31-112-2007. Часть 3. Крытые ледовые арены. - М.: 2008.
12. ГОСТ Р EN 13779-2007 Вентиляция в нежилых зданиях. Технические требования к системам вентиляции и кондиционирования. –М.: 2008.
13. ASHRAE Indoor Air Quality Guide. /Atlanta, GA 30329- 2009.

References:

1. T.W. Pelham, L.E. Holt, M.A. Moss Exposure to carbon monoxide and nitrogen dioxide in enclosed ice arenas /Review, 2012.
2. A. Pennanen Indoor Air Pollution and Health Risks in Finnish Ice Arenas / Academic Dissertation /National Public Health Institute / Kuopio. 2005.
3. GOST 12.1.005-88 Obshchie sanitarno-gigienicheskie trebovaniya k vozduhu u rabochej zony.
4. L. Boettern Atmospheric hazard associated with ice-skating rinks / BIOSYSTEMS/ AN2000-8,1-1-2000.
5. M. Brauer, K. Lee , John D. Spengler, R. O. Salonen , A. Pennanen et al. Nitrogen Dioxide in Indoor Ice Skating Facilities: An International Survey. J Air Waste Manage Assoc. 1997; 47:1095-1102.
6. R.Dobos Public Health. Carbon Monooxide Exposure in Indoor Ice Arenas / The American Society of Safety Engineers / www.asse.org -September 2012.
7. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2010. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.
8. C. Yang, P. Demokritou, Q. Chen, J. Spengler, A. Parsons Ventilation and air quality in indoor ice skating arenas / ASHRAE Transactions. -2000. – 106.
9. C.Yang, P.Demokritou, Q. Chen, J.Spengler Experimental validation of a computational fluid dynamics model for IAQ applications in ice rink arenas, Indoor Air, 11(2)- 2001. 120-126.
10. Svod pravil SP60.13330.2012 Otoplenie, ventilyaciya i kondicionirovanie vozduha. Aktualizirovannayaredakciya SNiP 41-01-2003 / М.: Minregion Rossii, 2012.
11. Svod pravil po proektirovaniyu ustroitel'stvu. Fizkul'turno-sportivnye zaly. SP 31-112-2007. CHast' 3. Krytye ledovye areny. - М.: 2008.
12. GOST R EN 13779-2007 Ventilyaciya v nezhilyh zdaniyah. Tekhnicheskietrebovaniya k sistemam ventilyacii i kondicionirovaniya. – М.: 2008.
13. ASHRAE Indoor Air Quality Guide. /Atlanta, GA 30329- 2009.

Статья поступила в редакцию 23.11.2016 г.