



Совершенствование инженерных методов расчёта вентиляции крытой ледовой арены

Введение

Крытые ледовые арены относятся к спортивным сооружениям, к которым предъявляются жёсткие санитарно-гигиенические требования. Задача обеспечения требуемых параметров микроклимата в спортивных сооружениях подобного назначения заключается в создании таких систем вентиляции и кондиционирования воздуха, которые предназначены для обеспечения требуемых параметров воздушной среды как для зрителей, так и для самих выступающих спортсменов [1–3, 10]. Исходя из изложенного, можно выделить две области с характерными параметрами воздуха в объёме помещения ледовой арены: область трибуны для зрителей и область непосредственно над поверхностью ледового покрытия, высотой 1,5 м от поверхности льда.

Температура ледового покрытия зависит от вида проводимого спортивного мероприятия (табл. 1) [1–3, 10].

Традиционные способы расчёта воздухообмена не охватывают всего разнообразия факторов, влияющих на теплообмен в помещении, а также не учитывают схемы организации воздухообмена, что приводит к отклонению параметров воздуха в обслуживаемой зоне помещения от заданных значений [4].

Задача обеспечения требуемых параметров микроклимата в спортивных сооружениях, подобных крытым ледовым дворцам и аренам, заключается в создании таких систем вентиляции и кондиционирования воздуха, которые предназначены для обеспечения требуемых параметров воздушной среды и для зрителей, и для выступающих спортсменов

Актуальность решения заявленной темы

Системы вентиляции и кондиционирования расходуют значительные количества тепловой энергии, а зачастую являются основным потребителем тепловой и электрической энергии. Эффективность систем вентиляции и кондиционирования воздуха главным образом зависит от схем организации воздухообмена (COB).

В зависимости от вида проводимых мероприятий системы обеспечения микроклимата крытых ледовых арен должны обеспечивать заданные температурно-влажностные режимы по отдельным объёмам помещения. Необеспечение необходимых параметров воздуха в зоне ледового поля приводит к ухудшению качества льда, а также способствует образованию тумана над его поверхностью.

Рецензия эксперта на статью получена 18.02.2019 [Expert review on the article received February 18, 2019].

УДК 697.92. Научная специальность: 05.23.03.

Совершенствование инженерных методов расчёта вентиляции крытой ледовой арены

Самвел В. Саргсян, к.т.н., доцент, директор Научно-образовательного центра «Теплогасоснабжение и вентиляция» (НОЦ «ТГВ»); **Владимир Н. Варпаев**, д.ф.-м.н., профессор; **Виктория А. Борисова**, аспирант, кафедра «Теплогасоснабжение и вентиляция», Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)

Представлена математическая модель физических процессов, происходящих внутри крытой ледовой арены. Применён метод разделения объёма помещения целесообразным образом на два характерных контрольных объёма для оптимизации процесса обеспечения требуемых параметров воздуха в области катка.

Ключевые слова: контрольный объём, математическая модель, воздухообмен, приточная струя, воздухораспределение, микроклимат.

UDK 697.92. Number of scientific specialty: 05.23.03.

Improvement of engineering methods for calculation of indoor ice arena ventilation

Samvel V. Sargsyan, PhD, Associated Professor, director of Scientific and Educational Center of Heat and Gas Supply and Ventilation (SEC HGSV); **Vladimir N. Varapaev**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor; **Victoria A. Borisova**, postgraduate student, the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation, Moscow State University of Civil Engineering, National Research University Moscow State of Civil Engineering (NRU MGSEU)

A mathematical model of the physical processes occurring inside the covered ice arena is presented. The approach of dividing the volume of the room in an arbitrary way into two characteristic control volumes is considered to optimize the process of providing the specified air parameters in the rink area.

Key words: control volume, mathematical model, air supply jet, air distribution, and microclimate.

Рациональные проектные решения принимаются с помощью математического моделирования аэродинамических, тепло-массообменных и других процессов, возникающих в проектируемых помещениях. Эффективность работы систем обеспечения микроклимата крытых ледовых арен зависит от принятых схем организации воздухообмена систем вентиляции и кондиционирования воздуха и инженерных методов их расчёта.

Разработка схем и методов инженерного расчёта систем вентиляции и кондиционирования воздуха крытых ледовых арен является актуальной. Улучшение качества принимаемых решений при проектировании систем обеспечения микроклимата крытых ледовых арен позволит снизить энергетические затраты [4].

Общая постановка задачи

Помещение ледовой арены является элементом здания. Рассматриваются процессы, связанные с перемещением воздуха, струйные течения в замкнутом пространстве, распределение температуры, скорость движения воздушных потоков, и диффузия примесей в объёме пространства крытой ледовой арены.

Помещение ледовой арены рассматривается как объект, состоящий из двух контрольных объёмов (КО), в каждом из которых может быть приток и удаление воздуха, поглощение или выделение вредных веществ [5–9].

К первому контрольному объёму ледовой арены относится область непосредственно над поверхностью ледового покрытия, высотой 1,5 м, совместно с приточной струей, где необходимо обеспечить условия для нормального функционирования катка, с поверхностью льда (I КО). Ко второму контрольному объёму относится область трибун для зрителей, где необходимо обеспечить комфортные условия (II КО).

Через границы контрольных объёмов могут проходить потоки веществ и энергии. В пределах каждого контрольного объёма потоки могут поглощаться или выделяться. На границах каждого контрольного объёма могут ощущаться внешние воздействия.

Поверхность контрольного объёма принято называть контрольной поверхностью (КП).

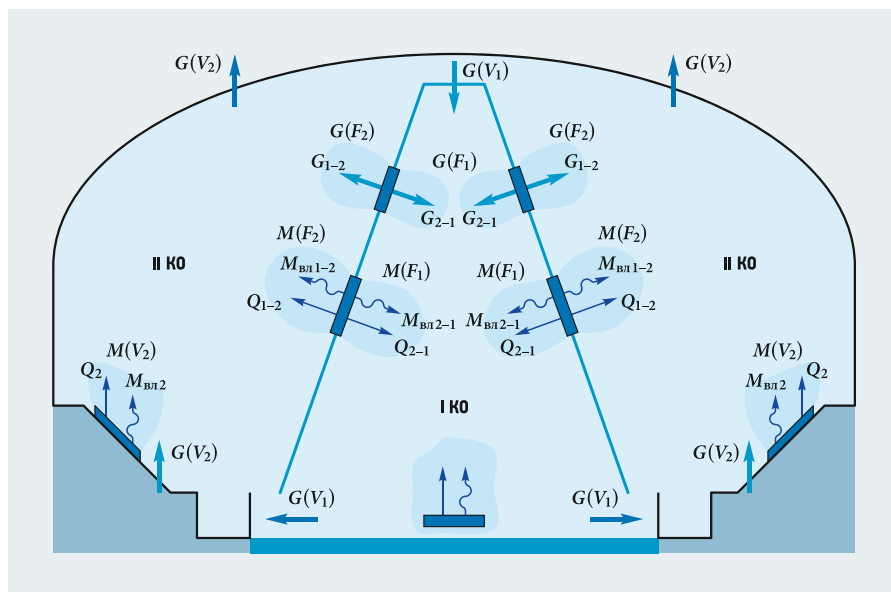


Рис. 1. Общая схема тепло-массообмена в помещении ледовой арены с двумя контрольными объёмами (I КО — первый контрольный объём; II КО — второй контрольный объём)

Системы кондиционирования воздуха и вентиляции крытой ледовой арены предназначены для:

- предотвращения тумана у поверхности катка;
- отсутствия конденсации на ограждающих строительных и технологических конструкциях;
- обеспечения заданных санитарно-гигиенических параметров в области постоянного пребывания зрителей.

Деление помещения ледовой арены на два контрольных объёма — условное. Параметры воздуха в каждом из КО условно приняты однородными.

В каждом из контрольных объёмов обеспечиваются характерные температурно-влажностные параметры. Необходимо учесть влияние параметров воздуха во II КО на параметры микроклимата в I КО при условии, что параметры микроклимата в данных контрольных объёмах создаются разными системами кондиционирования и вентиляции воздуха.

Тепло-воздушные процессы в контрольных объёмах описываются законами сохранения (массы и энергии). Математическая модель физического процесса, происходящего внутри помещения крытой ледовой арены, позволяет определить воздухообмен для обеспечения нормируемых параметров воздуха в отдельных КО вентилируемого помещения.

В общем случае контрольные объёмы вентилируемого помещения представляется как ограниченное пространство внутри помещения с произвольно рассредоточенными по ним источниками и стоками вредных выделений $M(V)$ и потоков вентиляционного воздуха $G(V)$.

Члены, описывающие потоки через контрольную поверхность, в статье обозначены следующими символами: потоки вредных выделений $M(F)$ и потоки воздушных масс $G(F)$.

На рис. 1 представлена общая схема тепло-массообмена в вентилируемом помещении крытой ледовой арены с двумя контрольными объёмами. Исходя из этого общий вид уравнений баланса по расходу воздуха и вредным выделениям для помещения ледовой арены с двумя КО следующий:

□ для I КО:

$$\begin{cases} \int_{V_1} G(V_1) dV_1 + \int_{F_1} G(F_1) dF_1 = 0 \\ \int_{V_1} M(V_1) dV_1 + \int_{F_1} M(F_1) dF_1 + \\ + \int_{V_1} G(V_1) \Pi(V_1) dV_1 + \int_{F_1} G(F_1) \Pi(F_1) dF_1 = 0; \end{cases} \quad (1)$$

□ для II КО:

$$\begin{cases} \int_{V_2} G(V_2) dV_2 + \int_{F_2} G(F_2) dF_2 = 0 \\ \int_{V_2} M(V_2) dV_2 + \int_{F_2} M(F_2) dF_2 + \\ + \int_{V_2} G(V_2) \Pi(V_2) dV_2 + \int_{F_2} G(F_2) \Pi(F_2) dF_2 = 0, \end{cases} \quad (2)$$

В системах уравнений первый член первых уравнений — это расход воздуха, поступающего или уходящего из различных точек контрольного объёма. Второй член тех же уравнений — массообмен между контрольными объёмами.

Параметры воздуха в области над поверхностью ледового покрытия

табл. 1

Деятельность	Темп-ра воздуха катка (на высоте 1,5 м), °С	Темп-ра воздуха на трибунах, °С	Темп-ра льда, °С	Относит. влажность воздуха катка, %
Хоккей	+6...+10	+18	–6,5...–5,5	30–45
Фигурное катание	+10...+13	+18	–4,0...–3,0	30–45

Задача сводится к определению расходов и параметров приточного и вытяжного воздуха по отдельным контрольным объёмам. Составление уравнений баланса для отдельных КО помещения позволяет находить требуемый воздухообмен более обоснованно

Задача сводится к определению расходов и параметров приточного и вытяжного воздуха по отдельным контрольным объёмам. Составление уравнений баланса для отдельных КО помещения позволяет находить требуемый воздухообмен более обоснованно.

Приточная струя распространяется в направлении истечения, перемешиваясь по пути с окружающим воздухом II КО,

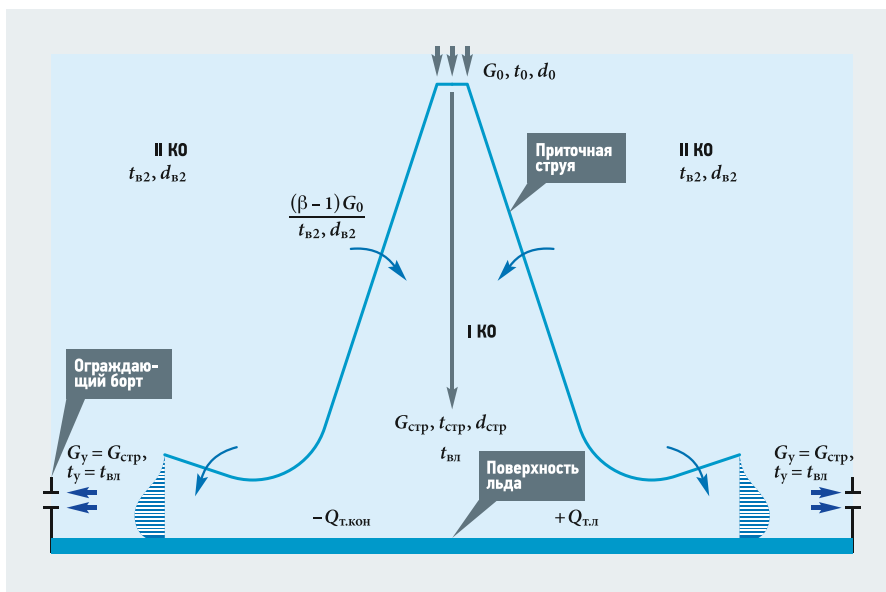


Рис. 2. Расчётная схема тепловоздушных процессов в I КО



держанием $d_{стр}$. Теплота струи расходуется на компенсацию конвективных теплопотерь от воздуха обслуживаемой зоны к поверхности льда $Q_{Т.кон}$.

Формула для определения требуемых параметров воздуха на выходе струи из воздухохораспределителя, в вентилируемом помещении ледовой арены с двумя контрольными объёмами, выводится из систем балансовых уравнений, составленных для I КО ледового катка совместно с приточной струей по массе и по теплоте (3), а также по массе и по влагосодержанию (5).

Из уравнения баланса приточной струи определяем параметры воздуха на выходе из воздухохораспределителя для обеспечения заданных параметров воздуха на входе струи в зону катка.

причём перемешивание сопровождается увеличением количества перемещаемого воздуха, торможением струи и образованием медленного течения окружающего воздуха по направлению к струе. Вследствие эжектирующего эффекта наблюдается поступление теплоты и водяных паров из второго КО в первый.

Воздух поступает через приточные насадки в количестве G_0 с температурой t_0 и влагосодержанием d_0 (рис. 2). Струя приточного воздуха, развиваясь в направлении истечения, ассимилирует тепловыделения и влаговыведения из II КО. Воздух во II КО соответствует температуре $t_{вп}$ и влагосодержанию $d_{вп}$. Расход воздуха в расчётном сечении струи увеличивается от начального G_0 до $G_{стр}$ за счёт эжекции воздуха из II КО. В конце развития струя поступает в обслуживаемую зону с температурой $t_{стр}$ и влагосо-





Уравнение баланса приточной струи по расходу и по теплоте, в соответствии со схемой (рис. 3), принимает вид:

$$\begin{aligned} G_0 + (\beta - 1)G_0 &= \beta G_0 \\ G_0 t_{0c_b} + (\beta - 1)t_{вп} c_b &= \beta G_0 t_{стр} c_b. \end{aligned} \quad (3)$$

Из уравнения (3) определяется температура воздуха на выходе струи из воздухораспределителя:

$$t_0 = \beta t_{стр} - (\beta - 1)t_{вп}. \quad (4)$$

Уравнение баланса приточной струи по расходу и по влагосодержанию, в соответствии со схемой на рис. 3, принимает следующий вид:

$$\begin{aligned} G_0 + (\beta - 1)G_0 &= \beta G_0 \\ G_0 d_{0c_b} + (\beta - 1)d_{вп} c_b &= \beta G_0 d_{стр} c_b. \end{aligned} \quad (5)$$

Из уравнения (5) определяется влагосодержание воздуха на выходе струи из воздухораспределителя:

$$d_0 = \beta d_{стр} - (\beta - 1)d_{вп}. \quad (6)$$

Из уравнений (4) и (6) очевидно, что предварительные значения температуры и влагосодержания воздуха при истечении из воздухораспределителя, для обеспечения нормируемых параметров в обслуживаемой зоне ледового катка, зависят от коэффициента β — относительного расхода воздуха в струе. Чем выше установка воздухораспределителей, тем большее количество окружающего воздуха из II КО приточной струей вовлекается в I КО. В помещениях с большими тепловыделениями или в помещениях с иными вредными выделениями рекомендуется устанавливать воздухораспределители на небольших высотах, чтобы уменьшить подмес.

Данный метод позволяет определять оптимальную высоту установки и харак-

теристики воздухораспределительного устройства, а также параметры воздуха при истечении струи из воздухораспределителя, с целью обеспечения заданных параметров воздуха на входе струи в обслуживаемую зону ледового поля.

Аналитическую формулу для определения требуемого воздухообмена для I КО, где расположено ледовое поле, с использо-

**Чем выше установка воздухо-
распределителей, тем большее
количество окружающего воз-
духа из II КО приточной стру-
ей вовлекается в I КО. В поме-
щениях с большими тепловы-
делениями или в помещениях
с иными вредными выделе-
ниями рекомендуется устанавли-
вать воздухораспределители
на небольших высотах, чтобы
уменьшить подмес**

ванием математической модели помещения крытой ледовой арены с двумя КО в наиболее общей форме можно вывести из систем балансовых уравнений по расходу воздуха и по теплоте, составленных для характерных зон I КО: ледовый каток (7) и приточная струя (9).

На рис. 2 изображена расчётная схема тепловоздушных процессов в I КО (в зоне ледового поля). Уравнения баланса в соответствии со схемой примут вид:

□ для зоны ледового поля I КО

$$\begin{aligned} G_{стр} - G_{yx} &= 0 \\ G_{стр} t_{стр} c_b + Q_{т.л} - Q_{т.кон} - G_{yx} t_{yx} c_b &= 0; \end{aligned} \quad (7)$$

так как

$$G_{стр} - G_{yx} = 0, t_{yx} = t_{вл}; \quad (8)$$

□ для струи в объёме I КО:

$$\begin{aligned} G_0 + (\beta - 1)G_0 &= G_{стр} \\ G_0 t_{0c_b} + (\beta - 1)G_0 t_{вп} c_b &= G_{стр} t_{стр} c_b; \end{aligned} \quad (9)$$

$$G_0 \beta = G_{стр}, \quad (10)$$

$$t_{стр} = [t_0 + (\beta - 1)]/\beta, \quad (11)$$

где $G_{стр}$ — расход воздуха в приточной струе при входе в обслуживаемую зону ледового поля в I КО, кг/ч; G_{yx} — количество уходящего воздуха, кг/ч; G_0 — количество воздуха, истекающего из воздухораспределителя, кг/ч; t_0 — температура воздуха при истечении из воздухораспределителя, °C; $t_{стр}$ — температура приточной струи при входе в обслуживаемую зону ледового поля, °C; t_{yx} — температура уходящего воздуха в объёме II КО, °C; $t_{вл}$ — температура обслуживаемой зоны над поверхностью льда, °C; $t_{вп}$ — температура воздуха во II КО; β — относительный расход воздуха в струе (коэффициент подмешивания струи); $Q_{т.кон}$ — конвективный приток теплоты от воздуха к поверхности льда, Вт; $Q_{т.л}$ — теплопритоки от людей, Вт; c_b — удельная теплоёмкость воздуха, кДж/(кг·°C).



Совместное решение уравнений (7) и (8) позволяет определить расход воздуха в приточной струе $G_{\text{стр}}$ при входе в обслуживаемую зону ледового поля в I КО:

$$G_{\text{стр}} = \frac{Q_{\text{т.кон}} - Q_{\text{т.л}}}{c_v(t_{\text{стр}} - t_{\text{вл}})} \quad (12)$$

Из уравнения (12), подставляя уравнение связей (10) и (11), выводим формулу для определения требуемого воздухообмена G_0 зоны ледового поля:

$$G_0 = \frac{3,6(Q_{\text{т.кон}} - Q_{\text{т.л}})}{c_v[t_0 + (\beta - 1)t_{\text{вл}} - \beta t_{\text{вл}}]} \quad (13)$$

Полученная зависимость (13) позволяет установить взаимосвязь между характеристиками воздухораспределительного устройства, высотой его установки и температурой приточного воздуха, подаваемого в зону ледового катка.

При проектировании систем вентиляции и кондиционирования воздуха обслуживаемых зон ледовой арены необходимо стремиться к исключению интенсивного перемешивания приточного воздуха, подаваемого в зону ледового поля, с воздухом II КО, имеющего высокое теплосодержание. Подача завышенного количества приточного воздуха в зону льда приведёт к интенсивному смешению воздушных масс первого и второго контрольных объёмов. В результате этого температура воздуха над поверхностью (на высоте 1,5 м от льда) может превысить заданное значение.

Чтобы воспользоваться предлагаемым способом расчёта требуемого воздухообмена, необходимо ввести дополнительные условия, учитывающие обеспечение санитарно-гигиенических характеристик струи при входе её в обслуживаемую зону ледового поля.

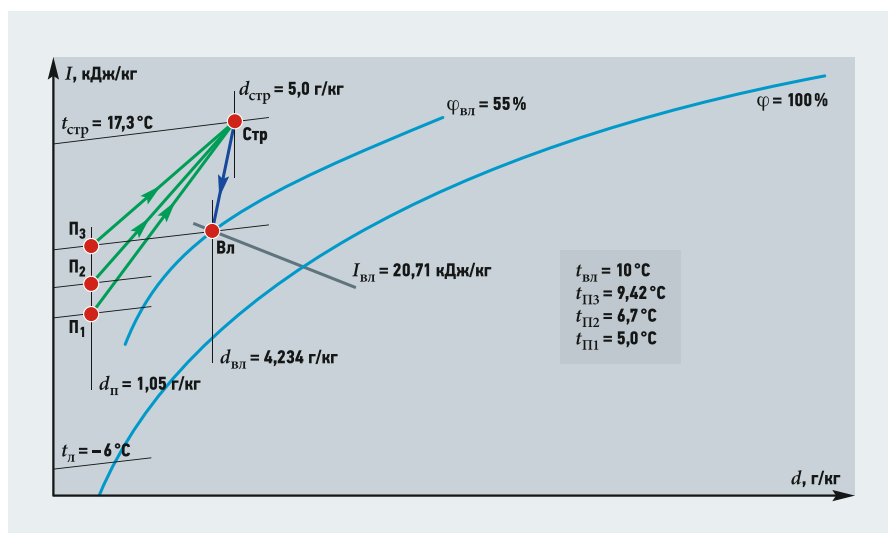


Рис. 3. i - d -диаграмма изменения параметров воздуха приточной струи в помещении крытого катка с двумя контрольными объёмами при организации воздухообмена по схеме «сверху-вниз»

Комплексный расчёт воздухообмена и воздухораспределения проводился с учётом закономерностей струйных течений и особенностей их развития, при этом учитывались основные характеристики воздухораспределителей. Диапазон изменения количества приточного воздуха, подаваемого в зону ледового поля, для обеспечения требуемых параметров зависит от количества избытков теплоты, выделяемых во II КО (зона трибун), характеристик воздухораспределительного устройства, высоты его расположения и температуры приточного воздуха.

Подробный учёт факторов, влияющих на параметры воздуха в зоне ледового поля, позволяет определить, а также оценить степень обеспеченности заданных параметров воздуха в обслуживаемой зоне.

При определении параметров приточного воздуха на выходе из воздухораспре-

делителя, для обеспечения заданных параметров воздуха на входе приточной струи в обслуживаемую зону катка, с применением модели помещения крытой ледовой арены с двумя контрольными объёмами, параметры воздуха в характерных точках можно определить графоаналитическим методом, используя i - d -диаграмму влажного воздуха.

Диапазон изменения количества приточного воздуха, подаваемого в зону ледового поля, для обеспечения требуемых параметров зависит от количества избытков теплоты, выделяемых во II КО (зона трибун), характеристик воздухораспределительного устройства и температуры приточного воздуха



На рис.3 изображена i - d -диаграмма изменения параметров приточного воздуха в зоне ледового поля (I КО) при изменении тепло- и влаговыделений во II КО (зона трибун). Точки П₁, П₂ и П₃ характеризуют параметры состояния воздуха, истекающего из воздухораспределителей. При расчёте использовались следующие параметры воздуха во II КО: отрезок П₁-П₂-П₃-Стр характеризует процесс ассимиляции теплоты и влаги, вследствие перемешивания с приточной струей воздуха из II КО, потоком приточного воздуха, подаваемого в зону льда. Отрезок Стр-Вл характеризует процесс охлаждения приточного воздуха, поступающего в обслуживаемую зону, при котором воздух отдаёт явное конвективное тепло поверхности льда.

Задача достижения требуемых параметров в приточной струе при входе в обслуживаемую зону ледового поля (точка $C_{тр}$ на рис. 3), при изменении тепловыделений и влаговыведений в зоне трибун, обеспечивается изменением температуры приточного воздуха (точки P_1 , P_2 и P_3 , рис. 3). Снижение тепловыделений и влаговыведений в зоне трибун сопровождается повышением температуры приточного воздуха от точки P_1 до точки P_3 .

Выводы

Предложен метод расчёта параметров микроклимата отдельных контрольных объёмов помещения крытой ледовой арены при организации распределения воздуха по схеме «сверху-вниз» для определения параметров и режимов работы приточных и вытяжных устройств.

Предложенная модель физических процессов, происходящих внутри помещения крытой ледовой арены, позволяет определять начальные параметры воздуха приточной струи для обеспечения требуемых параметров воздуха непосредственно над поверхностью ледового покрытия.

Графоаналитический метод расчёта параметров воздуха в области ледового катка на базе $i-d$ -диаграммы позволяет учесть процесс смешивания воздуха двух контрольных объёмов и уточнить начальные параметры воздуха в струе, с учётом типа струи и высоты расположения воздухораспределителя.

В существующих методиках расчёта систем вентиляции и кондиционирования воздуха крытых ледовых арен зона трибун для зрителей и зона ледового поля рассматриваются обособленно, то есть не учитывается взаимодействие зон, имеющих различные температурно-влажностные параметры.

Балансовый метод не позволяет проанализировать поля концентраций, температуры и модуля скорости в объёме арены. Более достоверные результаты получаются при использовании современных методик вычислительной гидродинамики (Computational Fluid Dynamics), то есть CFD-моделированием [11]. ●

1. Волков А.А., Марголина И.С., Бородкин А.А. Особенности распределения воздуха в системах вентиляции зрительных залов // АВОК, 2010. №2. С. 54–59.
2. Кокорин О.Я., Товарас Н.В., Иньков А.П. Анализ энергетических показателей СКВ для помещений тренировочных катков, оборудованных различными системами холодо- и теплоснабжения // Холодильная техника, 2007. №10. С. 14–19.
3. Панкратов В.В., Шилкин Н.В. Особенности климатизации ледовых арен // АВОК, 2009. №8. С. 24–36.
4. Гримитлин М.И. Распределение воздуха в помещении. — СПб.: АВОК Северо-Запад, 2004. 320 с.
5. Титов В.П., Саргсян С.В. Построение процессов изменения состояния воздуха на $i-d$ -диаграмме при двухзонной модели вентилируемого помещения. — Депон. рук. ВНИИТПИ, 1991. №10910. Библ. указат. депон. рук., вып. 5.
6. Саргсян С.В. Методика определения количества и характеристик воздухо-распределителей, расположенных в верхней зоне помещения, при подаче воздуха вертикальными струями // Вестник МГСУ, 2009. №2 (спецвыпуск). С. 452–456.
7. Титов В.П., Саргсян С.В. Универсальная двухзонная модель помещения для расчёта требуемого воздухообмена / В сб.: Охрана труда в промышленности. — Пенза, 1991.
8. Саргсян С.В. Исследование способов организации воздухообмена и систем воздухораспределения на физических моделях в лабораторных условиях // Научное обозрение, 2015. №16. С. 68–71.
9. Саргсян С.В. Методика лабораторных испытаний способов организации воздухообмена на физических моделях // Научное обозрение, 2015. №16. С. 76–79.
10. Žák A., Sikula O., Trcala M. Analysis of local moisture increase of timber constructions on ice arena roof. Advanced Materials Research. 2013. Vol. 649. Pp. 291–294.
11. Гримитлин А.М., Дацюк Т.А., Денисихина Д.М. Математическое моделирование вентиляционных процессов: Монография. — СПб.: АВОК Северо-Запад, 2013. 192 с.

Improvement of engineering methods for calculation of indoor ice arena ventilation. Pp. 74–79.

Samvel V. Sargsyan, PhD, Associated Professor, director of Scientific and Educational Center of Heat and Gas Supply and Ventilation (SEC HGSV); **Vladimir N. Varapaev**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor; **Victoria A. Borisova**, post-graduate student, the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation, Moscow State University of Civil Engineering, National Research University Moscow State of Civil Engineering (NRU MGSU)

1. Volkov A.A., Margolina I.S., Borodkin A.A. *Osobennosti raspredeleniya vozduha v sistemah ventiljacii zritel'nyh zalov* [Features of air distribution in the ventilation systems of auditoriums]. AVOK [Publishing House of the Non-commercial partnership "Engineers for heating, ventilation, air conditioning, heat supply and construction thermal physics"]. 2010. No. 2. Pp. 54–59.
2. Kokorin O.Ja., Tovaras N.V., In'kov A.P. *Analiz jenergeticheskikh pokazatelej SKV dlja pomeshhenij trenirovochnykh katkov, oborudovannykh razlichnymi sistemami holodo- i teplosnabzhenija* [Analysis of the energy performance of SCR for training skating rinks, equipped with various cooling and heating systems]. *Holodil'naja tehnika* ["Refrigeration engineering" Magazine]. 2007. No. 10. Pp. 14–19.
3. Pankratov V.V., Shilkin N.V. *Osobennosti klimatizacii ledovykh aren* [Features air conditioning ice arenas]. AVOK [Publishing House of the Non-commercial partnership "Engineers for heating, ventilation, air conditioning, heat supply and construction thermal physics"]. 2009. No. 8. Pp. 24–36.
4. Grimitlin M.I. *Raspredelenie vozduha v pomeshhenii* [Indoor air distribution]. St. Petersburg. AVOK Severo-Zapad ["AVOK — the Northwest" Publishers (Publishing House of the Non-commercial partnership "Engineers for heating, ventilation, air conditioning, heat supply and construction thermal physics")]. 2004. 320 p.
5. Titov V.P., Sargsjan S.V. *Postroenie processov izmenenija sostojanija vozduha na i–d–diagramme pri dvuhzonoj modeli ventiliruемого pomeshhenija* [Construction of air condition change processes on the i–d–diagram with a two-zone model of a ventilated room]. *Deponirovannaja rukopis' VNIINTPI* [The deposited manuscript of All-Union Scientific Research Institute of the Problems of Scientific and Technological Progress and Information in Construction], 1991. No. 10910. *Bibliograficheskij ukazatel' deponirovannykh rukopisej*, vyp. 5 [References manuscripts deposited. Vol. 5].
6. Sargsjan S.V. *Metodika opredelenija kolichstva i harakteristik vozduhoraspredelitel'ej, raspolozhennykh v verhnej zone pomeshhenija, pri podache vozduha vertikal'nymi strujami* [The method of determining the number and characteristics of air distributors located in the upper zone of the room when air is supplied by vertical jets]. *Vestnik MGSU* [The messenger of National Research University Moscow State of Civil Engineering]. 2009. No. 2 (special issue). Pp. 452–456.
7. Titov V.P., Sargsjan S.V. *Universal'naja dvuhzonnaja model' pomeshhenija dlja rascheta trebuемого vozduhoobmena* [Universal two-zone model of the room to calculate the required air exchange]. *V sb.: Ohrana truda v promyshlennosti* [Coll. vol. "Labor protection in the industry"]. Penza. 1991.
8. Sargsjan S.V. *Issledovanie sposobov organizacii vozduhoobmena i sistem vozduhoraspredelenija na fizicheskikh modeljah v laboratornykh uslovijah* [Investigation of ways of organizing air exchange and air distribution systems on physical models in the laboratory]. *Nauchnoe obozrenie* [Scientific Review]. 2015. No. 16. Pp. 68–71.
9. Sargsjan S.V. *Metodika laboratornykh ispytanij sposobov organizacii vozduhoobmena na fizicheskikh modeljah* [Methods of laboratory testing methods of organizing air exchange on physical models]. *Nauchnoe obozrenie* [Scientific Review]. 2015. No. 16. Pp. 76–79.
10. Žák A., Sikula O., Trcala M. Analysis of local moisture increase of timber constructions on ice arena roof. *Advanced Materials Research*. 2013. Vol. 649. Pp. 291–294.
11. Grimitlin A.M., Dacjuk T.A., Denisihina D.M. *Matematicheskoe modelirovanie ventiljacionnykh processov: Monografija* [Mathematical modeling of ventilation processes: Monograph]. St. Petersburg. AVOK Severo-Zapad ["AVOK — the Northwest" Publishers]. 2013. 192 p.