

комплекс, позволяет на базе высокорентабельного производства осуществить чрезвычайно экономически эффективное и полное комплексное использование местного минерального сырья и энергии с получением высоких норм прибыли и с минимальными для производственных проектов сроками окупаемости.

Техническим заданием на выполнение дальнейших НИР, ОКР, ТЭО предусматривается решение следующих задач: рассмотрение альтернативных вариантов размещения предприятий вновь проектируемого горно-химического комплекса; определение потребности в минерально-сырьевых, топливно-энергетических ресурсах и условия обеспечения ими; определение производственной мощности первой очереди горно-химического комплекса, номенклатуры и объемов выпускаемой продукции; рассмотрение альтернативных вариантов производственной программы; планируемой выручки от реализации товарной продукции; разработка инновационных технологий и комплекса технических средств для экологически безопасной промышленной переработки углекarbonатного минерального сырья с применением плазменного реактора мощностью 500 кВт; составление укрупненного ТЭО организации промышленного производства по переработке минерального сырья и строительства горно-химического комплекса (ГХК) на промышленных предприятиях г. Спасск-Дальний Приморского края. На втором этапе предусматривается строительство горно-химического комплекса в г. Партизанске Приморского края с применением промышленных плазменных установок для переработки углекarbonатного минерального сырья мощностью 1000 кВт.

Список литературы

1. Сорокин А.П., Авдейко Г.П., Алексеев А.В., Бакланов П.Я., Жуков А.В., Подолян В.И., и др. Стратегия развития топливно-энергетического потенциала Дальневосточного экономического района до 2020 года / под ред. чл.-корр. РАН А.П. Сорокина. – Владивосток: Дальнаука, 2001. – 112 с.
2. Жуков А.В., Ковалев В.Н. Установка для переработки углекarbonатного минерального сырья. Патент RU № 39598 по заявке № 2003133853 от 24.11.2003 г.
3. Жуков А.В., Ковалев В.Н. Способ переработки углекarbonатного минерального сырья. Патент № 2256611 по заявке 2003134108 от 24.11.2003 г.
4. Жуков А.В., Яковлев А.Д., Ковалев В.Н., Первухин П.Н. Эффективные технологии получения и использования высокотемпературных энергоносителей на основе химической переработки углекarbonатного минерального сырья // Сб. Тр-ов НИК, посвященной 15-летию ИЭУ ДВГТУ, 27–28 сентября 2006 г. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2006. – С. 75–77.
5. Жуков А.В., Звонарев М.И., Жукова Ю.А. Способ переработки углекarbonатного минерального сырья. Патент RU 2367604 С1, опублик. 20.09.2009. Бюл. № 26, с. 7.
6. Жуков А.В., Звонарев М.И., Жукова Ю.А. Установка для переработки углекarbonатного минерального сырья. Патент RU 2367645 С1, опублик. 20.09.2009. Бюл. № 26, с. 8.
7. Жуков А.В. Рациональное природопользование, ресурсо- и энергосбережения: безотходные, экологически безопасные технологии комплексной переработки carbonатного и угольного минерального сырья // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2010. – № 12. – С. 147–150.

ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ОСТЕКЛЕНИЯ ОКОННЫХ ПРОЕМОВ И ОКОННЫХ ОТКОСОВ ПРАВОСЛАВНЫХ ХРАМОВ

Кочев А.Г., Шаров А.В., Кочева Е.А.

*Нижегородский государственный
архитектурно-строительный университет,
Нижний Новгород, e-mail: scald1966@mail.ru*

В работе приведён обзор результатов исследований отечественных и зарубежных авторов конструкций заполнений световых проёмов зданий. Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований теплопотерь через окна с двойным и тройным остеклением высотой более 2,5 м в зависимости от расположения оконных переплётов в инерционных стенах православных храмов толщиной $\delta_{ст} = 0,9–1,54$ м. Даны зависимости для расчёта общего коэффициента теплопередачи окна и прилегающего оконного откоса в толстостенных конструкциях, сравнимых по размерам с шириной окна. Определено рациональное расположение оконных коробок в проёмах, имеющих минимальные теплопотери через зону оконного проёма. Приведены графики, характеризующие минимальные размеры зоны возможной конденсации при рациональном расположении оконного переплёта по отношению к продольной оси стены.

Одним из первых исследователей в этой области следует считать П. Сальмоновича, опубликовавшего в 1892 г. свою работу [1]. Первая же обстоятельная работа в области теплового режима окон выполнена О.А. Вутке в 1928 г. в Государственном институте сооружений [2].

В 1930–1940 гг. теплопередачей через оконные проёмы занимались отечественные ученые К.Ф. Фокин [3], В.Д. Мачинский [4, 5], Е.И. Булгаков, В.В. Леонов, В.Л. Громов, Б.Ф. Васильев, М.А. Михеев, Р.Е. Бриллинг [6], И.В. Лукашик, Д.Я. Бояринцев и другие, а за рубежом – Мюллер, Рейхер, Якоб, Мак-Адамс, Ритшель-Браббе, Бергвал, Дальберг, Ниман, Шмидт и другие [2].

Следует отметить, в первую очередь, исследования К.Ф. Фокина [3] и В.Н. Богословского [7] по определению теплозащитных свойств двойного остекления, теплопередачи оконных проёмов и откосов зданий, а также Р.Е. Брилинга по воздухопроницаемости ограждающих конструкций [6].

Из зарубежных исследований заслуживают наибольшего внимания работы Мюллера и Рейхера по изучению теплопередачи воздушных прослоек. Результаты этих исследований позже были дополнительно обработаны Якобом и М.А. Михеевым. Шмидт [8] на основании собственных экспериментов и опытов, проведенных Нуссельтом, Мюллером и Рейхером, Энном, Бекманом и Сельшопом над прослойками газов и жидкостей, сделал сводный обзор. На основе этого обзора, а также с учетом резуль-

татов Фойгта, Кришера, Вилькенса, Гехлера, Квирра и Райша Ниман установил зависимость теплопередачи воздушных прослоек от их формы и положения.

Изучение эксплуатации окон в условиях развития площади остекления и увеличения этажности зданий проводили Г.Ф. Кузнецов, В.Е. Константинова, И.С. Либер, И.Ф. Ливчак, Ю.А. Калядин, А.И. Ананьев, И.С. Шаповалов, Н.Н. Разумов и другие.

Большой вклад в определение теплотехнических характеристик различных конструкций окон и разработку методов их расчета внесли ученые НИИСФ (Москва). Данной проблемой занимались В.К. Савин, В.А. Дроздов, Н.П. Сигаев, В.И. Бурцев, Н.С. Давыдова, А.А. Верховский.

Также заслуживают серьезного работы П.С. Лобкова, Б.А. Крупнова, Н.П. Умняковой, Е.А. Петровой, В.Н. Варапаева, Ю.Я. Кувшинова, С.В. Карапетяна, В.Н. Шершнева, Петрова Е.В.

Площадь световых проемов православных храмов составляет в среднем от 15 до 30% общей поверхности наружных стен [9]. В этих зданиях расход теплоты распределялся приблизительно следующим образом: 40% тепловой энергии идет на нагрев вентиляционного воздуха, около 40% – на покрытие потерь через окна, около 20% – на покрытие теплопотерь через стены и перекрытия [10].

Влияние конструкции заполнения переплета на теплопотери через окна показано на рис. 1 [10]. Расчет эффективности применения заполнений световых проемов с повышенной теплозащитой показывает, что при устройстве окон с теплозащитными экранами теплопотери зданий снижаются на 7–11%, а при использовании теплоотражающих стекол – в среднем на 9% [10]. Приведенные затраты на заполнение оконных проемов с повышенной теплозащитой на 2–9% меньше, чем затраты при тройном остеклении. В период резкого похолодания, как показывают натурные наблюдения, теплопотери через окна составляют до 80% и более от общих потерь [11]. Максимальные потери теплоты помещением $Q_{отр}$ совпадают во времени с наибольшими теплопотерями через окна. Окна практически не обладают тепловой инерцией, поэтому наибольшие теплопотери через них соответствуют минимальной наружной температуре [12].

Обращаясь к изучению лучших образцов народного творчества в области строительства жилищ, можно установить, что народными зодчими при выборе оконных проемов прекрасно учитывались местные климатические особенности и гигиенические требования.

Архитектурные особенности зданий православных храмов, количество и возможное расположение окон культовой архитектуры и сведения об исследуемых храмах рассмотрены в [13].

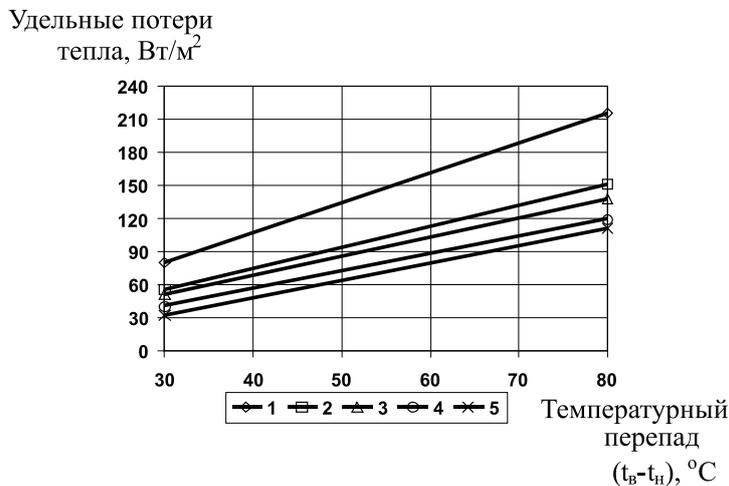


Рис. 1. Потери тепла через окна с двойным остеклением в отдельных деревянных переплетах: 1 – с обычным стеклом; 2 – с теплоотражающим стеклом; 3 – с теплозащитным экраном из синтетической пленки; 4 – то же, из поролон; 5 – то же, из пенопласта

Наибольшее распространение в России получили окна с деревянными, стальными и алюминиевыми переплетами. Реже использовались окна с комбинированными переплетами.

Изменение температуры вблизи оконных и дверных проемов тем значительнее, чем толще стена и чем меньше расстояние между оконными переплетами. При этом температура внутренней поверхности стены несколько повы-

шается по мере приближения к проему, а на откосах проема резко понижается.

Решенная В.Н. Богословским задача [7] применима только для стен с толщиной соизмеримой с толщиной оконной коробки. В случае значительного превышения толщины стены δ_0 над толщиной оконной коробки $\delta_{ок}$ нулевая изотерма не проходит через середину оконного переплета, что подтверждается натурными и расчетными данными [14].

Расчет тепловых потоков, термического сопротивления и температурных полей был проведен для двойного и тройного остекления в храмах.

Расчетная схема теплопередачи через двухслойную светопрозрачную конструкцию представлена на рис. 2.

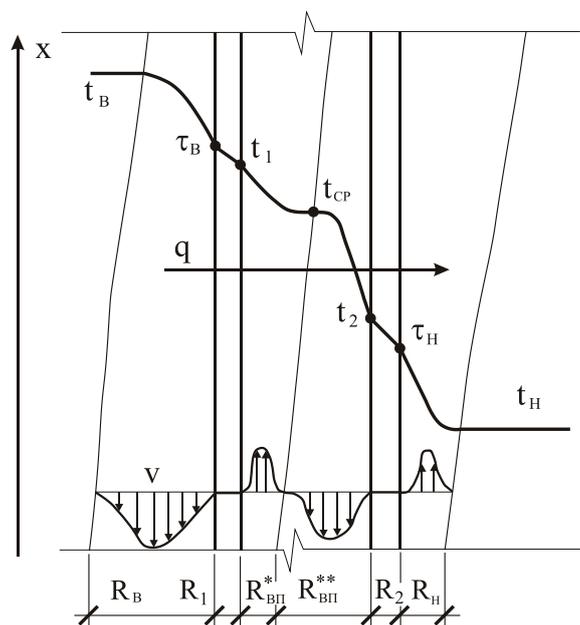


Рис. 2. Расчетная схема теплопередачи через двухслойную светопрозрачную конструкцию

В холодный период у внутренней поверхности остекления образуется ниспадающий конвективный поток, а у наружной – восходящий. В воздушной замкнутой прослойке возникает циркуляционное движение с обратносимметричными пограничными слоями.

В результате экспериментальных исследований было установлено, что циркуляция воздуха в межстекольном пространстве для наиболее распространенных конструкций окон в храмах начинается при толщине \$\delta_{ок} = 220\$ мм для высоты оконной коробки \$h_{ок} = 2,5-3\$ м; при толщине \$\delta_{ок} = 200\$ мм для высоты оконной коробки \$h_{ок} = 3-4\$ м; при толщине \$\delta_{ок} = 160\$ мм для высоты оконной коробки \$h_{ок} > 4\$ м.

Расчёт теплопотерь через оконные проемы церквей следует выполнять с учетом коэффициента дополнительной теплопередачи \$\Delta K\$ через откосы, прибавляя его значение к коэффициенту теплопередачи окна \$K'_{ок}\$.

В результате общий коэффициент теплопередачи окна в толстостенных конструкциях храма будет равен:

$$K_{ок} = K'_{ок} + \Delta K. \quad (1)$$

Коэффициент дополнительной теплопередачи окна \$\Delta K\$ определяется по формуле:

$$\Delta K = q_w \cdot \frac{P}{F}, \quad (2)$$

где \$q_w\$ – удельные дополнительные потери теплоты через оконный откос, Вт/(м·°C); \$P\$ – периметр оконного проема, м; \$F\$ – площадь оконного проема, м².

Оконные рамы храмов имеют формы, отличающиеся от прямоугольных. Для того, чтобы увязать дополнительные теплопотери через откосы с конфигурацией оконного проема, они определяются по величине удельных дополнительных потерь теплоты \$q_w\$ через единицу длины периметра оконного откоса, имеющего температуру ниже температуры внутренней поверхности плоскости стены за пределами влияния двумерного температурного поля откоса.

На рис. 3 и 4 приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований величины \$q_w\$ в зависимости от температуры внутреннего \$t_B\$ и наружного \$t_H\$ воздуха, толщины стены \$\delta_0\$ и положения двойного оконного деревянного переплета толщиной \$\delta_{ок} = 0,15\$ м по отношению к продольной оси стены \$\bar{\delta} = \frac{\delta_{ок}}{\delta_0}\$.

Данная зависимость наиболее существенна при сравнимых размерах ширины оконного проема храма с толщиной ограждения \$\delta_0\$. В этом случае нулевая изотерма не совпадает с осью стены.

Величина удельных дополнительных теплопотерь через оконный откос \$q_w\$ определяется из рис. 3 и 4.

По выражению (2) рассчитывается коэффициент дополнительной теплопередачи окна \$\Delta K\$. Значение коэффициента теплопередачи конструкции окна \$K'_{ок}\$ находится по СТО [15].

Исследование влияния расположения оконной коробки в проеме показало, что при перемещении коробки к внутренней поверхности

стены вблизи окна температура изменяется. Сопротивление теплопередаче окна с учетом потерь через оконные откосы при этом уменьшается

до 30% при традиционном расположении оконного переплёта на четверть к наружной поверхности стены.

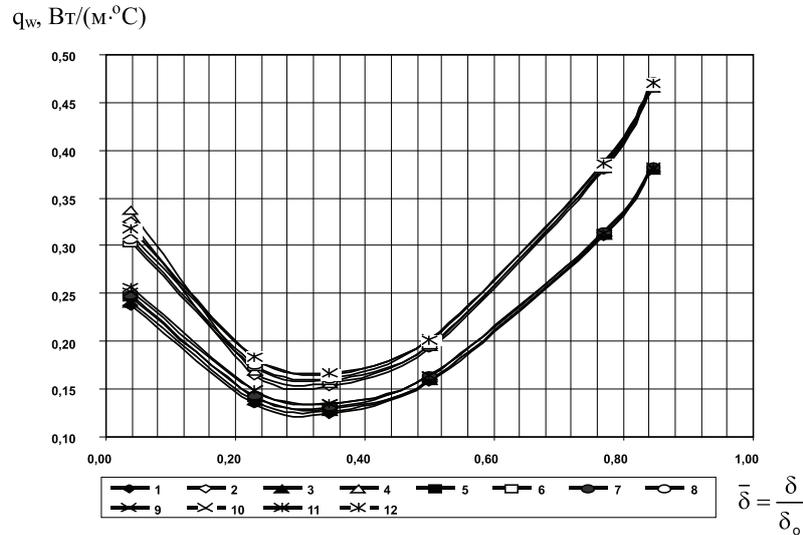


Рис. 3. Результаты теоретических (нечетные цифры) и экспериментальных (четные цифры) исследований величины удельных дополнительных теплотерь через оконный откос q_w в зависимости от температуры внутреннего $t_g = 14^\circ\text{C}$ и наружного $t_n = -8...30^\circ\text{C}$ воздуха, толщины стены $\delta_o = 1,04\text{ м}$ и положения двойного

оконного деревянного переплета толщиной $\delta_{ок} = 0,15\text{ м}$ по отношению к продольной оси стены $\bar{\delta} = \frac{\delta}{\delta_o}$

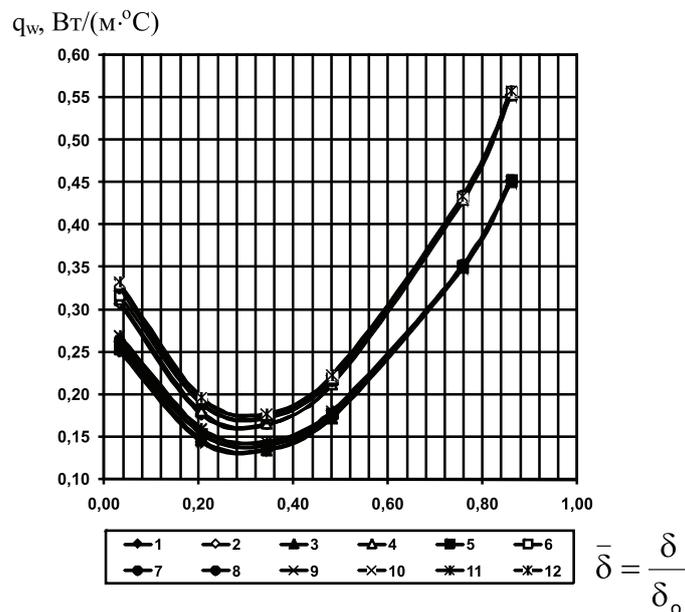


Рис. 4. Результаты теоретических (нечетные цифры) и экспериментальных (четные цифры) исследований величины удельных дополнительных теплотерь через оконный откос q_w в зависимости от температуры внутреннего $t_g = 14^\circ\text{C}$ и наружного $t_n = -8...30^\circ\text{C}$ воздуха, толщины стены $\delta_o = 1,16\text{ м}$ и положения двойного

оконного деревянного переплета толщиной $\delta_{ок} = 0,15\text{ м}$ по отношению к продольной оси стены $\bar{\delta} = \frac{\delta}{\delta_o}$

Из анализа результатов, приведённых на рис. 3 и 4 следует, что только за счет рационального расположения оконного переплета можно достичь экономии тепловой энергии в церквях порядка 3,5–7% от общих теплотерь здания.

К этому следует добавить, что уменьшенная величина зоны возможной конденсации на поверхности откоса будет способствовать сохранности фресок и художественной росписи интерьера собора.

В результате можно сделать следующие выводы:

1. В нормах на проектирование и строительство зданий и сооружений отмечается ужесточение требований к ограждающим конструкциям как у нас в стране, так и за рубежом.

2. Теплопотери через окна в большинстве случаев составляют большую долю теплопотерь через ограждающие конструкции зданий.

3. Теплопотери через оконные откосы и их тепловой режим определяются конструкцией и расположением оконного переплета по отношению к продольной оси стены храма.

4. Теплопотери через оконные откосы составляют значительную долю потерь тепла за счет нарушения однородности температурного поля в ограждающих конструкциях.

5. При установке оконных блоков следует определять их рациональное положение с точки зрения уменьшения теплопотерь, минимизации ширины плоскости возможной конденсации на поверхности откосов или ее исключения.

Список литературы

1. Сальмонович П. Прикладная термодинамика или закон Ньютона о теплопроводности в приложении к строительному искусству. – СПб., Издание Института гражданских инженеров, 1892. – 408 с.
2. Копылов К.П. Теплопередача окон жилых зданий повышенной этажности. Дис. на соиск. уч. ст. к. т. н. – М.: Московский научно-исслед. и проектный ин-т типового и эксперимент. проектирования, 1970. – 184 с.
3. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1973. – 287 с.
4. Мачинский В.Д. Теория активной теплоемкости жилых зданий. – М.: Изд. Глав. управления коммунального хозяйства НКВД, 1925. – 52 с.
5. Мачинский В.Д. Теплотехнические основы гражданского строительства. – 2-е изд., исправл. и доп. – М.-Л., Госстройиздат, 1932. – 312 с.
6. Брилинг Р.Е. Воздухопроницаемость ограждающих конструкций и материалов. – М., Госстройиздат, 1948. – 102 с.
7. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): учебник для вузов. – 2-е, изд. перераб. и доп. – М., Высшая школа, 1982. – 415 с.

8. Шмидт Э. Нормы Германского объединения индустрии Шмидт Э. Нормы Германского объединения индустрии центрального отопления: пер. с нем. Я.С. Лаздан. – М.-Л., Гос. научно-технич. изд-во, 1931. – 52 с.

9. Павловский А.К. Курсь отопления и вентиляции. Ч. 2. Центральные системы отопления. Вентиляция. – СПб.: Строитель, 1907. – 440с.

10. Тепловой режим и долговечность зданий / Сб. трудов. Научно-исслед. ин-т строит. физики; под ред. С.В. Александровского. – М.: НИИСФ, 1987. – 133 с.

11. Богуславский Л.Д. Снижение расхода энергии при работе систем отопления и вентиляции. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1985. – 336 с. (Экономия топлива и электроэнергии).

12. Богословский В.Н., Сканава А.Н. Отопление: учеб. для вузов. – М.: Стройиздат, 1991. – 735 с.

13. Кочев А.Г. Микроклимат православных храмов: монография. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2004. – 448 с.

14. Кочев А.Г., Сергиенко А.С. Решение задачи по расчету температурных полей оконных откосов уникальных зданий // Известия вузов. Строительство. – 2001. – № 11. – С. 84–90.

15. СТО 00044807-001-2006 Теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий. – М.: РОИС, 2006. – 88 с.

К ВОПРОСУ О ТЕПЛООБМЕНЕ В ДИФFUЗОРАХ С ПРОНИЦАЕМОЙ НАГРЕТОЙ СТЕНКОЙ ОБТЕКАЕМОЙ ПОТОКОМ ВОЗДУХА

Никитин П.В., Хащенко А.А.,
Стародубцева Г.П.

Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, e-mail: haa-08@mail.ru

Сложная конфигурация потоков газов, возникающая при обтекании поверхностей энергетических устройств, используемых для получения электроэнергии в системах АПК, требует определение влияния градиента давления на теплообмен в этих условиях. Опубликованные результаты исследований в области высоких температур малочисленны.

При рассмотрении теплообмена в представлении двухслойной модели турбулентного пограничного слоя на обтекаемой поверхности переменного сечения получается [1, 2] выражение для определения относительных коэффициентов теплообмена

$$\Psi = \frac{St}{St_0} = \frac{(\sqrt{\Psi} + 1) Re^{**0,25} Pr^{0,75} \ln \left[\Psi - (\Psi - 1) St \cdot Pr \cdot Re^{**0,36} \left(\frac{\delta^{**}}{\delta} \right)_{кр}^{0,28} \left(-f_{кр} / 2 \right)^{-0,64} \right]}{1,73 (\sqrt{\Psi} - 1) (1 - b/b_{кр})^2 \left[Re^{**0,27*} \left(\frac{\delta}{\delta} \right)_{кр}^{-0,54} \left(-f_{кр} / 2 \right)^{0,27} - 1 \right]}, \quad (1)$$

в зависимости от числа Рейнольдса Re^{**} , построенного по δ^{**} – толщине потери импульса, параметров неизотермичности $\Psi = T_w/T_0$ и градиента давления $f = \left(\frac{\delta^{**}}{u_0} \right) \left(\frac{du_0}{dx} \right)$. Зависимость критического значения параметра градиента давления от неизотермичности принято в виде

$$\begin{aligned} f_{кр} / f_{кр0} &= 1/\Psi, \quad \Psi > 1; \\ f_{кр} / f_{кр0} &= \Psi^{-0,8}, \quad \Psi < 1, \end{aligned}$$

где в изотермических условиях $f_{кр0} = -0,01$.

Экспериментальное исследование теплообмена в коническом диффузоре проводилось на аэродинамическом стенде с индукционным нагревом графитовых каналов, описание которого даётся в работах [2, 3, 4, 5]. Опытный участок представлял собой осесимметричный диффузор с углом раскрытия 8° , входным внутренним диаметром 24 мм, длиной 130 мм и толщиной стенки 8 мм. Графитовая стенка канала разогревалась до температур $T_w = 1800 - 2000^\circ\text{K}$. В качестве основного потока использовался воздух с температурой $T_0 = 290^\circ\text{K}$. Массовая скорость на входе в канал составляла $\rho_{01} u_{01} = 103 - 161 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Профилированный вход в канал со степенью су-