

Список литературы

1. Шишкин Н. Д., Просвирина И. С. Оценка эффективности применения теплонасосных установок в системах теплоснабжения Астраханской области // Известия АЖКХ. 2000. № 4.
2. Васильев Г. П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев земли : дис. ... д-ра тех. наук. М., 2006. 423 с.
3. Руденко Н. Н., Фурсова И. Н. Моделирование температурного поля в грунте // Инженерный вестник Дона. 2013. № 4. URL: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2137>
4. Крылов В. А., Черноозерский В. А., Никитин А. А., Баранов И. В. Учет неравномерности температурного поля в геотермальной скважине теплового насоса // Вестник МАХ. 2015. № 1.
5. Лыков А. В. Теория теплопроводности : учеб. пособие. М. : Высшая школа, 1967. 600 с.
6. Крылов Д. А. Математическое моделирование температурных полей с учетом фазовых переходов в криотитозоне // Наука и образование : электронное научно-техническое издание. 2012. № 4.
7. Федякин В. Я., Карпов М. К. Использование грунтовых теплообменников в системах теплоснабжения // Ползуновский вестник. 2006. № 4.
8. Малых В. В., Удалов С. Н., Захаров А. А. Методика расчета грунтового аккумулятора // Энерго- и ресурсоэффективность малоэтажных зданий : материалы научно-практической конференции / Ин-т теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН. Новосибирск, 2013.
9. Костиков А. О., Харлампиди Д. Х. Влияние теплового состояния грунта на эффективность теплонасосной установки с грунтовым теплообменником // Энергетика: Экономика, технология, экология. 2009. № 1.
10. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости : учеб. пособие ; пер. с англ. М. : Энергоатомиздат, 1984. 152 с.
11. Руководство по применению тепловых насосов с использованием вторичных энергетических ресурсов и нетрадиционных возобновляемых источников энергии : [утв. и введ. в действие указанием Москомархитектуры от 31.01.2011 г. № 8]. М. : ГУП «НИИЦ», 2001. 32 с.
12. Смирнов С. С. Теоретические основы и технологии извлечения геотермальной энергии с использованием абсорбционных тепловых насосов : автореф. дис. ... канд. тех. наук. Новочеркасск, 2011. 19 с.
13. Маслов Н. Н. Основы механики грунтов и инженерной геологии. М. : Высшая школа, 1982. 511 с.
14. Ground-source heat pump project analysis / Clean Energy Decision Support Centre// CLEAN ENERGY PROJECT ANALYSIS: RET-SCREEN ENGINEERING and CASES TEXTBOOK/Minister of Natural Resources Canada, 2001–2005.

© Н. Ю. Сапрыкина, П. В. Яковлев

Ссылка для цитирования:

Сапрыкина Н. Ю., Яковлев П. В. Моделирование температурного поля эксплуатируемого грунтового массива в условиях длительной эксплуатации геотермального теплонасосного оборудования // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский инженерно-строительный институт. Астрахань : ГАОУ АО ВПО «АИСИ», 2015. № 4 (14). С. 60–66.

УДК 51-7, 697.98

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ И ВЕТРОВОЙ ЗАЩИТЫ ЖИЛЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ**П. В. Яковлев, Е. П. Яковлева, А. П. Яковлева***Астраханский инженерно-строительный институт**Астраханский государственный технический университет*

Выполнены исследования аэродинамики разработанных элементов ветровой защиты жилых и производственных комплексов. Для обеспечения комфортных условий проживания, безопасности зон нахождения людей, непрерывного цикла производства в промышленных зонах, подверженных ветровым воздействиям, и решения вопросов промышленной безопасности предложены архитектурные элементы и планировочные решения для ветровой защиты.

Ключевые слова: ветровая защита, комфортные условия, промышленная безопасность, численная модель, аэродинамический профиль, защитный экран.

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL INVESTIGATION OF AERODYNAMICS AND WIND PROTECTION OF RESIDENTIAL AND INDUSTRIAL COMPLEXES**P. V. Yakovlev, E. P. Yakovleva, A. P. Yakovleva***Astrakhan Institute of Civil Engineering**Astrakhan State Technical University*

It was performed aerodynamic researches of the developed elements of wind protection of residential and industrial complexes. To ensure comfortable living conditions, safety zones where people, continuous cycle of production in the industrial area subject to wind effects, and resolution of issues of industrial safety of the proposed architectural elements and planning decisions for wind protection.

Keywords: wind protection, comfort, safety, numerical model, aerodynamic profile, protective screen.

При решении архитектурно-планировочных задач жилых, парковых зон, транспортных магистралей и промышленных площадок существует проблема необходимости ветровой защиты. Как правило, это береговая линия водоемов, участки со специфическим рельефом

местности, характеризующиеся зонами значительных ветровых воздействий. Сложные погодные условия создают серьезные проблемы в части безопасности производства работ. Для решения проблемы нами предложены ветрозащитные элементы, которые могут быть

выполнены как отдельные конструкции зданий и сооружений, так и в виде адаптированных архитектурных элементов зданий. Как показали наши исследования, элементы обладают высокими защитными и эксплуатационными свойствами, мобильностью и низкой стоимостью.

Анализ особенностей обтекания объектов прямоугольной формы, преобладающей в архитектурных решениях большинства зданий и сооружений, ветрозащита может представлять собой наклонные плоские щиты, вогнутые листовые элементы и их разновидности в виде направленного рефлектора. Эти устройства могут быть расположены непосредственно на здании, сдвинуты за периметр и размещены на консолях, а также вынесены за периметр со сдвигом по высоте относительно кровли, пандуса и т. д. Выбор наиболее выгодного технического решения и является предметом нашего исследования. При работе над поставленной задачей нами использовались методы численного моделирования и экспериментальная проверка продувкой в аэродинамической трубе.

Численная модель включает в себя систему уравнений Навье – Стокса и сплошности, дополненные граничными условиями [1]. Принятые граничные условия: на входе, за пределами зоны влияния возмущающих элементов, скорость по всему живому сечению постоянна и равна расчетной скорости ветра; на входе, для обеспечения неразрывности, принято давление, равное атмосферному. На ограждающих элементах конструкций выполняется условие прилипания. Решение выполнено с использованием неявной разностной схемы. Способ разбиения и шаг сетки принимались адаптивно, исходя из условия сходимости решения, и проверялись по условию воспроизводимости результатов расчетов.

Эффективность предлагаемых конструктивно-технических решений проверялась сопоставлением с распространенными схемами без ветрозащиты на открытой площадке с уступом и защитой в виде вертикальной стенки (забора). Общий вид базовых расчетных схем и расчетного поля скоростей при существующих схемах представлен на рис. 1.

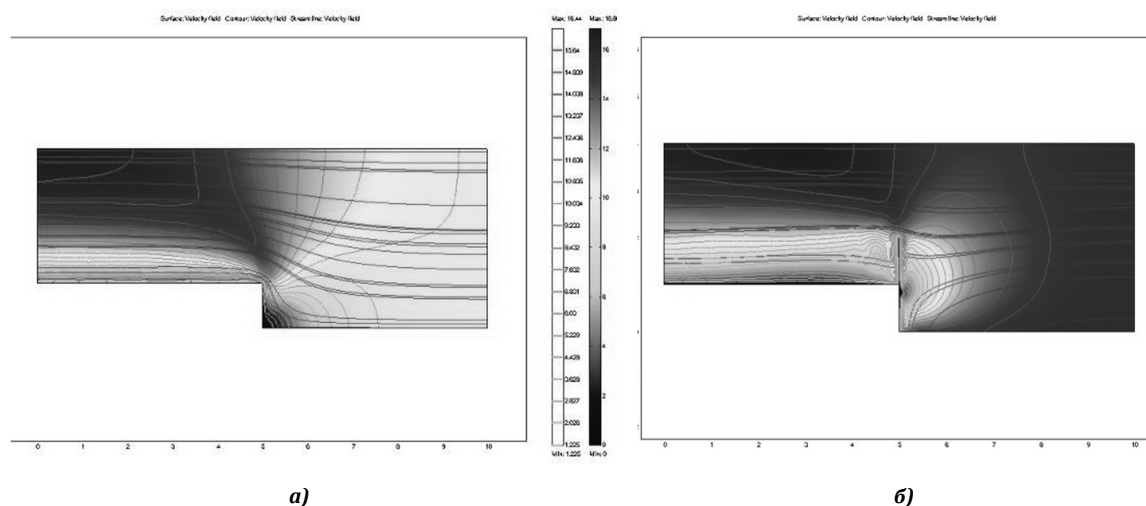


Рис. 1. Поля скоростей на площадке без ветрозащиты (а) и с ограждением – вертикальным листом (б)

Как видно из рисунка, в варианте «а» при отсутствии ветрозащиты над открытой площадкой после уступа наблюдается разгон воздушного потока. На расстоянии 3–4 м от края и высоте 1,8 м (рост человека) скорость возрастает на 10 %. Вертикальный защитный лист (забор) высотой 1 м понижает скорость. За ним наблюдается интенсивное завихрение потока, которое приводит к уносу пыли, аэрозолей и т. д. Далее, на расстоянии 3h (где h – высота листа) на уровне верхней кромки ограждающей конструкции ограждения скорость выравнивается с фоновой и далее возрастает. Таким образом, даже установка вертикальных ограждений с запасом по высоте полностью не решает проблемы ветрозащиты, одновременно создавая

новую проблему в виде зоны с высокой концентрацией в воздухе взвешенных частиц.

Рассмотрим расчетную схему аэродинамического элемента в виде наклоненного «вперед» против ветра листа. На рис. 2 представлены поля скоростей при угле наклона плоского защитного ограждения против ветра на 45°. Ограждение размещается на краю уступа площадки (а) и со смещением от края (б).

Ветрозащитный эффект достигается формированием потока, встречного к направлению ветра, аналогичного известному устройству воздушной завесы, который «поднимает» ветровой поток вверх. Относительно вертикальной стенки протяженность зоны влияния наклонного элемента больше, она составляет

примерно 2h. Это, при прочих условиях, позволяет снизить высоту аэродинамического элемента. Сопоставляя поля скоростей на рис. 1б и 2а, можно отметить, что во втором случае распределение скоростей с позиции ветрозащиты несколько лучше. За ограждающим элементом нет интенсивного вихреобразования, нисходя-

щий поток за ограждением менее выражен. Смещение листа от края (рис. 2б) более эффективно, так как вихревая зона относительно варианта «а» меньше, но эти изменения незначительно влияют на поле скоростей и ветрозащитные свойства элемента. Существенной разницы между схемами 2а и 2б не выявлено.

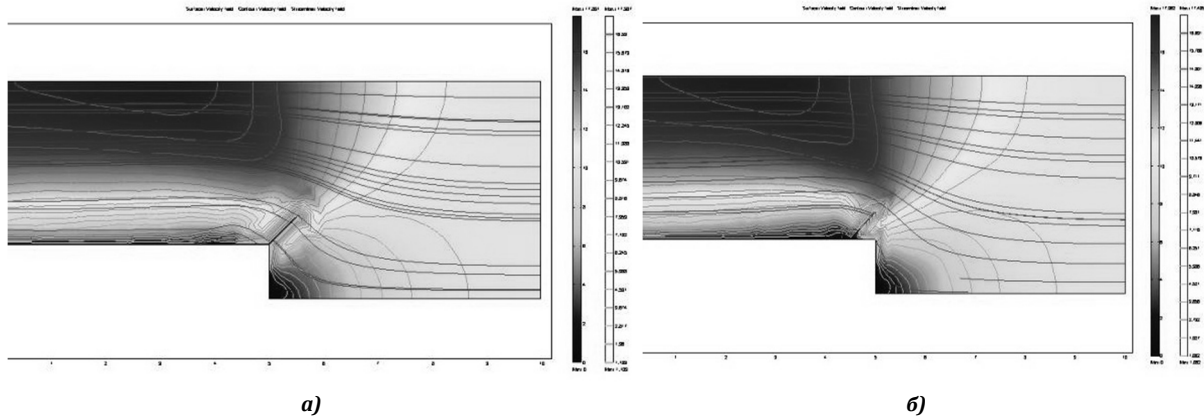


Рис. 2. Сравнение полей скоростей для наклонных ограждений: а) ограждение наклонное, установлено на краю; б) ограждение наклонное, установлено с отступом

Среди недостатков наклонного ограждения можно отметить заметное превышение скорости ветра над ветрозащитой относительно фоновой. При расчетной скорости ветра 10 м/с над ветрозащитой скорость превышает 16 м/с. Это необходимо учитывать, если планируется нахождение людей и проведение работ в незащищенной области.

Использование встречного потока воздуха для защиты площадки может быть эффективно реализовано применением специальных профилей, использующих эффект антикрыла. На рис. 3 представлены результаты расчета полей скоростей в случае замены плоских поверхностей изогнутыми аэродинамическими профилями.

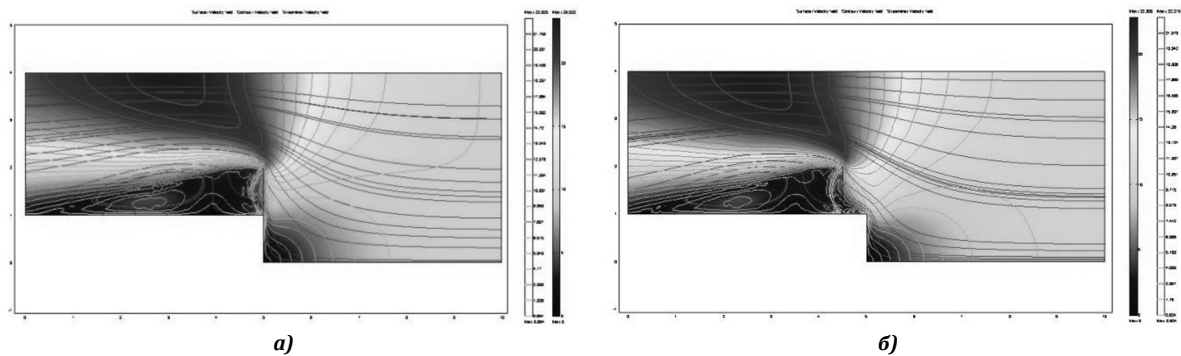


Рис. 3. Поле скоростей при использовании изогнутых профилей: а) ограждение профилированное, установленное на краю; б) ограждение профилированное, установленное с отступом

Использование изогнутых профилей усилило эффект восходящего потока, однако кардинального изменения ветрозащитных свойств не произошло. Более того, за ограждением сформировалась значительная по площади и интенсивности вихревая зона. Непосредственно над защитным экраном появился заметный восходящий поток воздуха, что, в конечном итоге, привело к отрицательному результату – двукратному увеличению скорости над площадкой. Уже на удалении 4–5h от ограждения скорость

ветра сравнивается с фоновой. К положительным свойствам можно отнести высокую эффективность профиля непосредственно за ним, превышающую все рассмотренные ранее. Значительных отличий между способами размещения ограждений 3а и 3б не выявлено. Подводя итог, отметим, что ветрозащита в виде изогнутого профиля эффективна при необходимости защиты рабочей зоны малой протяженности по направлению ветра, такой как, например, пешеходные дорожки или переходы. Высота

ограждения должна быть равна высоте защищаемого объекта.

В рассмотренных выше случаях сдвиг защитных экранов от края не давал заметного эф-

фекта. На рис. 4 представлены результаты другого решения – установки вынесенных за периметр площадки экранов в виде изогнутых профилей.

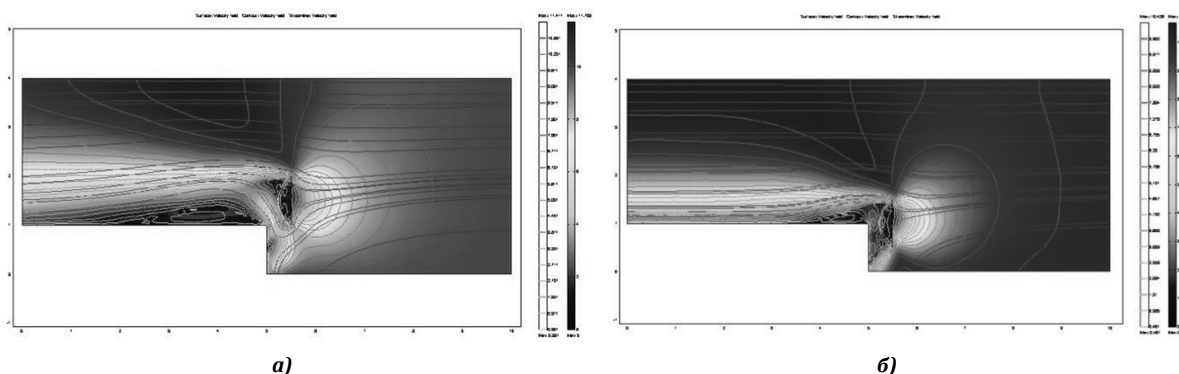


Рис. 4. Поле скоростей при вынесении экранов за периметр площадки: а) ограждение профилированное, вынесено вперед; б) ограждение вынесено вперед и опущено ниже уровня площадки

Как видно из полученных результатов, вынесение защитного экрана за периметр принципиально изменило поле скоростей, включив в формирование защитной зоны выступ площадки. Понижение давления за экраном сформировало дополнительный восходящий поток воздуха за ветрозащитой. Этот поток трансформируется за экраном в пограничный слой над площадкой, заметно ослабляющий приток высокоскоростного потока из верхних слоев. В отличие от рассмотренных ранее решений, на уровне высоты защитного экрана скорость ветра ниже фоновой, увеличение скорости над защитой не пре-

вышает 10 %. Рассмотренный в случае «б» вариант размещения аэродинамического элемента ниже плоскости площадки позволяет открыть обзор (например, для пешеходных зон) или улучшить условия проведения технологических операций на производственных площадках. При уменьшении выступающей высоты над уровнем площадки в 2 раза защищаемая зона по высоте уменьшается на 20–40 %. Данное свойство объясняется включением в процесс ветрозащиты существующих элементов здания, в которых экран выполняет скорее управляющую функцию.

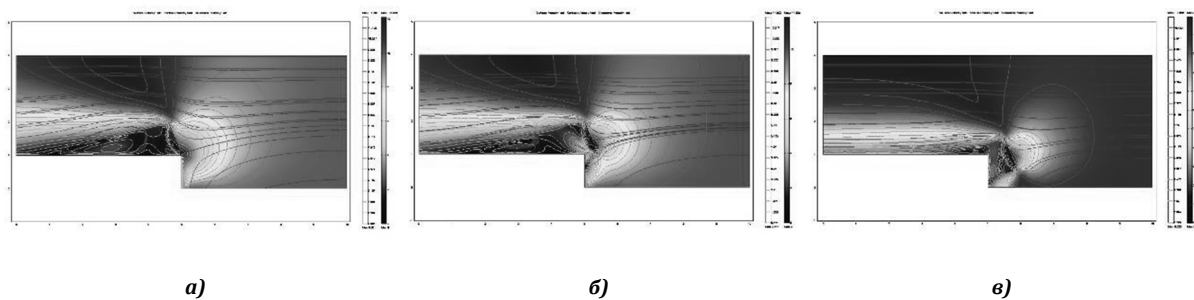


Рис. 5. Использование экранов рефлекторного типа: а) экран установлен на кромке; б) экран на уровне площадки и вынесен за периметр; в) экран вынесен за периметр и опущен

На рис. 5 представлены поля скоростей для варианта конструкции в виде защитных элементов – рефлекторов, направленных вверх и создающих экранирующий восходящий поток. Сравнивая рис. 3а и 5а, можно отметить, что рефлектор обеспечивает более устойчивую ветрозащиту без увеличения скорости воздушного потока над защищаемой зоной. Вынос рефлектора за периметр (рис. 5б) имеет аналогичную с конструкцией на рис. 4а эффективность. Недостатком является несколько большая интенсивность вихреобразования за экраном. Опуская экран ниже уровня площадки

(рис. 5в), получаем ветрозащиту, аналогичную по свойствам с вариантом 4б. Преимуществом этого решения является меньшая интенсивность вихреобразования за экраном. Применение экранов в виде наклонных элементов рефлекторного типа показало их высокую эффективность. Данные устройства менее требовательны к месту установки, демонстрируют устойчивые защитные свойства при всех способах установки. Их недостатком является значительная вертикальная нагрузка (сила давления), требующая учета при разработке монтажных креплений.

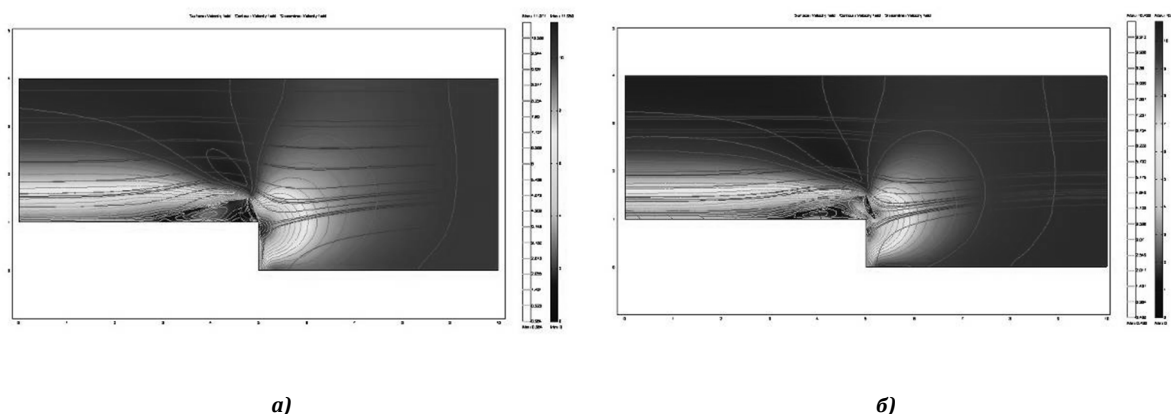


Рис. 6. Использование компактных экранов: а) компактный экран установлен на кромке; б) компактный экран вынесен за габарит

Используемые в настоящее время ветрозащитные элементы необходимо делать с запасом по высоте из-за ограничений ветрозащитных свойств по мере удаления от них. Предложенные нами аэродинамические элементы используют принцип воздушной завесы, поэтому уменьшение их высоты не столь критично приводит к кратному уменьшению протяженности защищаемой зоны. Представленные на рис. 6 поля скоростей компактных экранов подтверждают это. Уменьшение высоты защитного элемента в 2 раза снижает высоту защищаемой зоны в 1,5 раза (см. рис. 4а и 4б). Эта особенность позволяет создавать элементы с меньшими габаритными размерами.

Полученные результаты проверялись экспериментально в аэродинамической трубе на макете фрагмента здания. Визуализация линий тока получена путем внесения в поток нити, трассирующей движение воздуха. Турбулизация потока сопровождалась интенсивными колебаниями нити и обнаруживается на снимках

как «размытое» облако. Поученная картина линий тока регистрировалась фотосъемкой.

На рис. 7 представлено поле течения для выступа площадки без ветрозащиты. Как видно из трассировок линий тока, можно выделить три основные зоны: невозмущенный поток, восходящий поток и вихревая зона, которая расположена вблизи кромки, как и в численной модели (рис. 1а).

Вторая модель имитирует вертикальное ограждение на кромке площадки: на рис. 8 видно, что за вертикальным листом формируется вихревая зона. За экраном образуется застойная зона высотой 1,5h (высота экрана) с последующим отклонением потока вниз.

Линии тока для предложенных экранов в виде выносных аэродинамических элементов с эффектом «воздушной завесы» приведены на рис. 9.

Сопоставление экспериментальных линий тока на рис.9 с расчетными, представленными на рис. 10, показало удовлетворительную сходимость.

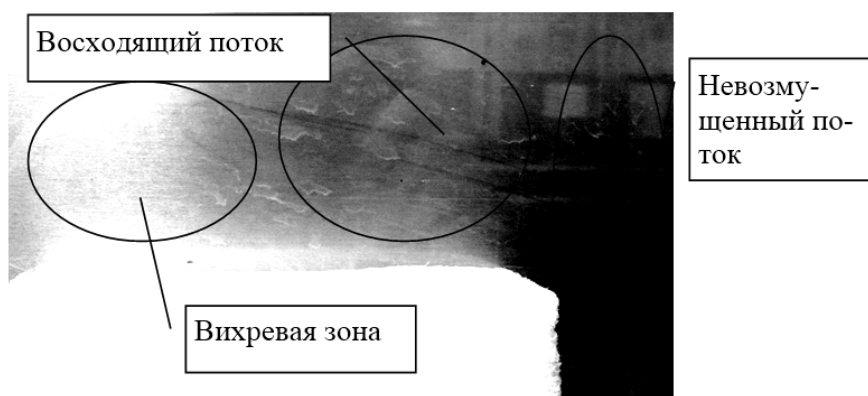


Рис. 7. Площадка без ветрозащиты

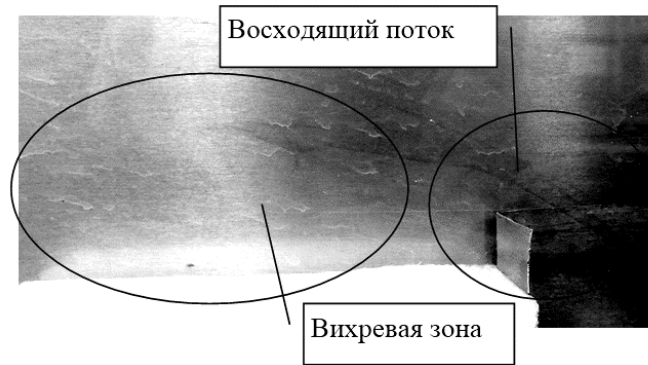


Рис. 8. Ветрозащита в виде вертикальных листовых экранов

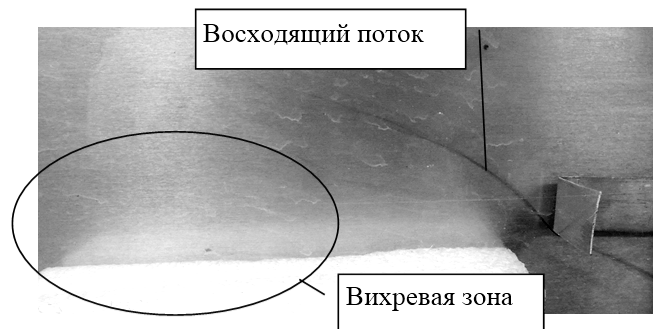


Рис. 9. Ветрозащита в виде выносных экранов

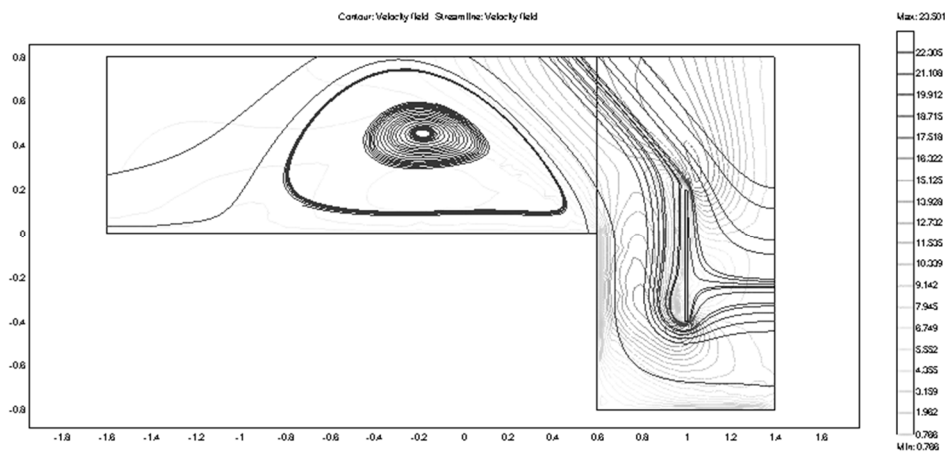


Рис. 10. Расчетные линии тока для аэродинамического элемента

Разработанные способы организации ветрозащиты, использующие эффект воздушной завесы, выполненные в виде профилированных элементов, вынесенных за периметр и смещенных ниже уровня защищаемой площадки, показали доста-

точно высокую эффективность и могут быть рекомендованы для использования в промышленном и гражданском строительстве как независимые элементы или как модифицированные архитектурные элементы зданий и сооружений.

Список литературы

1. Лыков А. В. Теплообмен (справочник). 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергия, 1978. 480 с.

© П. В. Яковлев, Е. П. Яковлева, А. П. Яковлева

Ссылка для цитирования:

Яковлев П. В., Яковлева Е. П., Яковлева А. П. Экспериментальное и теоретическое исследование аэродинамики и ветровой защиты жилых и производственных комплексов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский инженерно-строительный институт. Астрахань : ГАОУ АО ВПО «АИСИ», 2015. № 4 (14). С. 66–71.