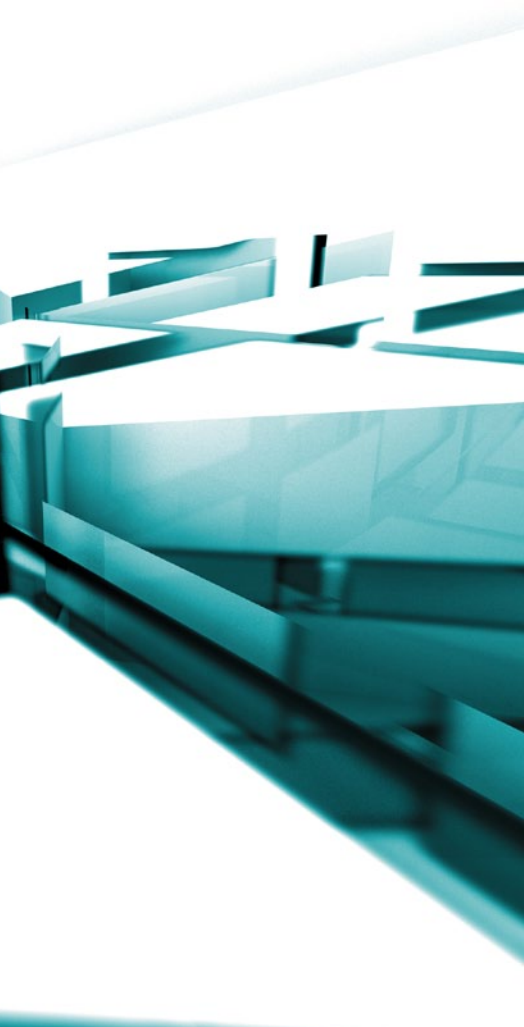




3-D МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ НАВЕСНЫХ ФАСАДНЫХ СИСТЕМ

ТАМАРА ДАЦЮК , ДАРЬЯ ДЕНИСИХИНА, АЛЕКСАНДРА КУРЕНКОВА

Проведение теплотехнического расчета навесных фасадных систем является неотъемлемой частью проектных работ. При этом определение фактического приведенного сопротивления теплопередачи подобной конструкции представляет собой достаточно сложную нетривиальную задачу. Участки неоднородных теплопроводных включений (профили, элементы креплений, тепловые мосты, узлы примыкания и пр.) существенно влияют на распределение тепловых потоков в конструкции, что необходимо учитывать при расчете приведенного сопротивления теплопередачи.



Применение современных компьютерных технологий 3-D моделирования позволяет существенно повысить точность теплотехнических расчетов оболочки здания. Чем сложнее фасадная система здания, тем существеннее будет отличие результатов подробных расчетов от упрощенных полуэмпирических подходов.

Очевидно, что неточности в теплотехническом расчете могут привести как к неправильному определению необходимой мощности систем отопления, так и к локальным проблемам, связанным, в том числе, с конденсацией влаги на внутренних поверхностях фасадных систем.

Ниже приведен пример расчета температурных полей в объеме и на поверхности навесной фасадной системы с вентилируемой воздушной прослойкой с помощью методов численного моделирования. Основная задача расчета – определение минимальной температуры на внутренней поверхности фасада

с целью предотвращения выпадения конденсата.

Фрагмент фасадной системы представлен на рис. 1 (наружное стекло после воздушного зазора не отображено на рисунках). Для получения достоверной информации о распределении температуры, особенно в угловых зонах стеклопакета, задача ставилась и решалась в 3D формате.

Температура внутренней поверхности фасада зависит от следующих факторов:

- термического сопротивления конструкции (с учетом трехмерности узлов соединения);

Для учета неоднородностей фасадных конструкций используют либо эмпирические зависимости, применение которых имеет ограниченный характер вследствие ряда упрощений, либо методы численного моделирования, позволяющих учитывать нелинейные связи параметров, сложную геометрию теплопроводных включений при расчете температурных полей. Второй вариант является существенно более точным (именно он рекомендован к применению в соответствии с СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»), но и более затратным, требующим использования специального программного обеспечения и навыков работы в нем. Альтернативой остается и испытание элементов фасадных конструкций в климатических камерах аккредитованных лабораторий.

Рис. 1. Фрагмент 3D геометрии фасада, использовавшейся при проведении CFD моделирования.

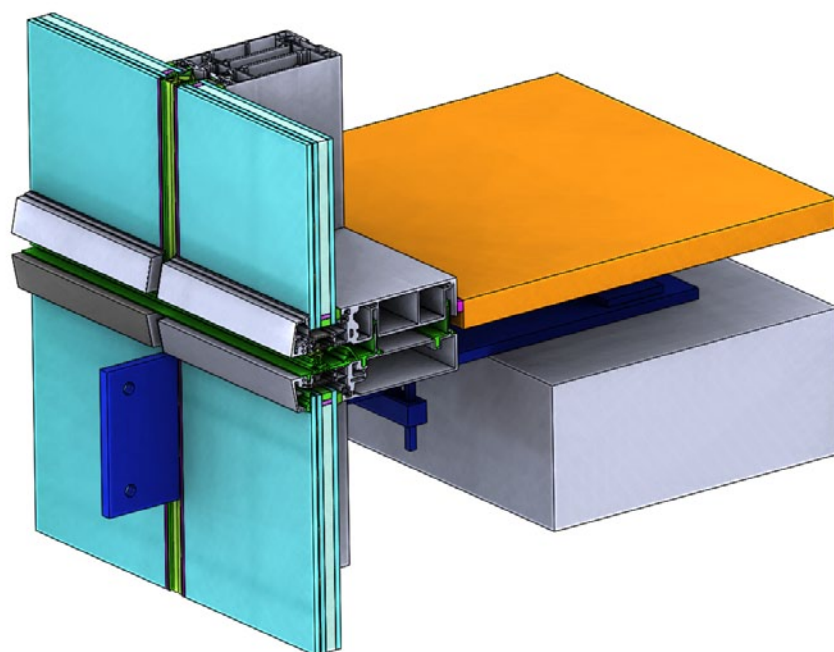


ТАБЛИЦА 1		
Состав	Толщина, мм	Термическое сопротивление R_{0i} , м ² ·°К/ Вт
Стекло	8	0,0105
Поливинилбутиральная пленка	1,5	0,005
Стекло	8	0,0105
Аргоно-воздушная смесь*	16	0,8
Стекло	8	0,0105

* полость с аргонем в математической модели заменена эквивалентным материалом, коэффициент теплопроводности которого определялся из равенства сопротивления теплопередаче стеклопакета (0,837 м²·°К/Вт) и вводимой в модель конструкции.

ТАБЛИЦА 2	
Материал	Теплопроводность, Вт/м ² °К
ЭПДМ	0,25
Алюминий	221
Полиамид	0,3
Силикон	0,35
Полисульфид	0,4
Chromatech	0,28
PVB	0,275
Сталь	58
Бетон	2,04
Стекло	0,76

- климатических условий района строительства;
- температурного режима помещения.

При теплотехническом расчете ограждающих конструкций, как правило, принимают постоянные значения коэффициентов теплоотдачи на внешней и внутренней поверхностях. Для случая вентилируемого фасада $\alpha_{\text{нар}} = 12 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°К}$, а коэффициент теплоотдачи со стороны помещения $\alpha_{\text{внутр}} = 8 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°К}$.

Однако, если целью расчета является не определение интегральных характеристик, а получение минимальных значений температуры на поверхности конструкции, то задание при моделировании постоянных значений коэффициентов внутренней и внешней теплоотдачи является некорректным и может привести к существенному искажению получаемых минимальных значений температуры на поверхности.

Так, при обтекании навесной фасадной конструкции потоком воздуха вблизи места соединения профи-

Рис. 2. Распределение температуры в объеме фасадной конструкции. Ригель. Наружная температура -10 °С , скорость в воздушной прослойке вентилируемого фасада $0,5 \text{ м/с}$.

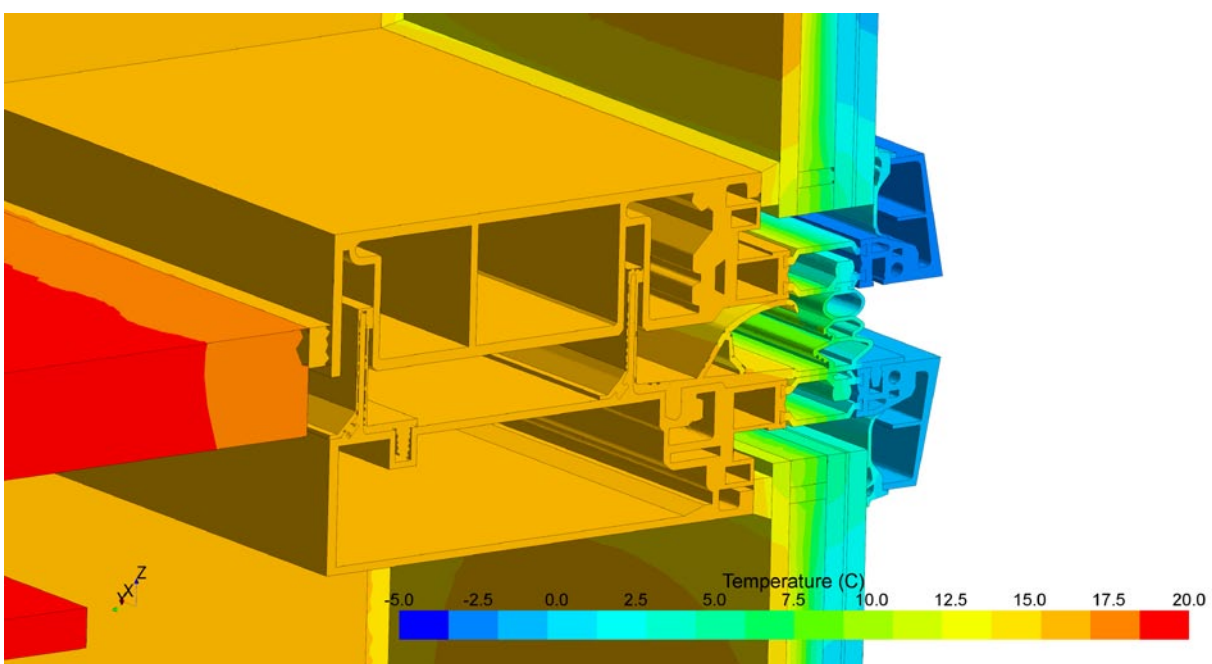


ТАБЛИЦА 3

Т воздуха со стороны вентилируемого фасада, °С	Скорость потока воздуха со стороны вентилируемого фасада, м/с	Минимальная температура на внутренней поверхности остекления, °С (результат CFD-моделирования)
-26	0,5	8,7
-26	2	5,8
-26	5	4,7
-10	0,5	13
-10	2	11,2
-10	5	10,1

лей поток будет менять направление и скорость своего движения, в частности с образованием вихревых зон с пониженными скоростями. Соответственно будут изменяться и локальные значения коэффициента теплоотдачи в этих зонах.

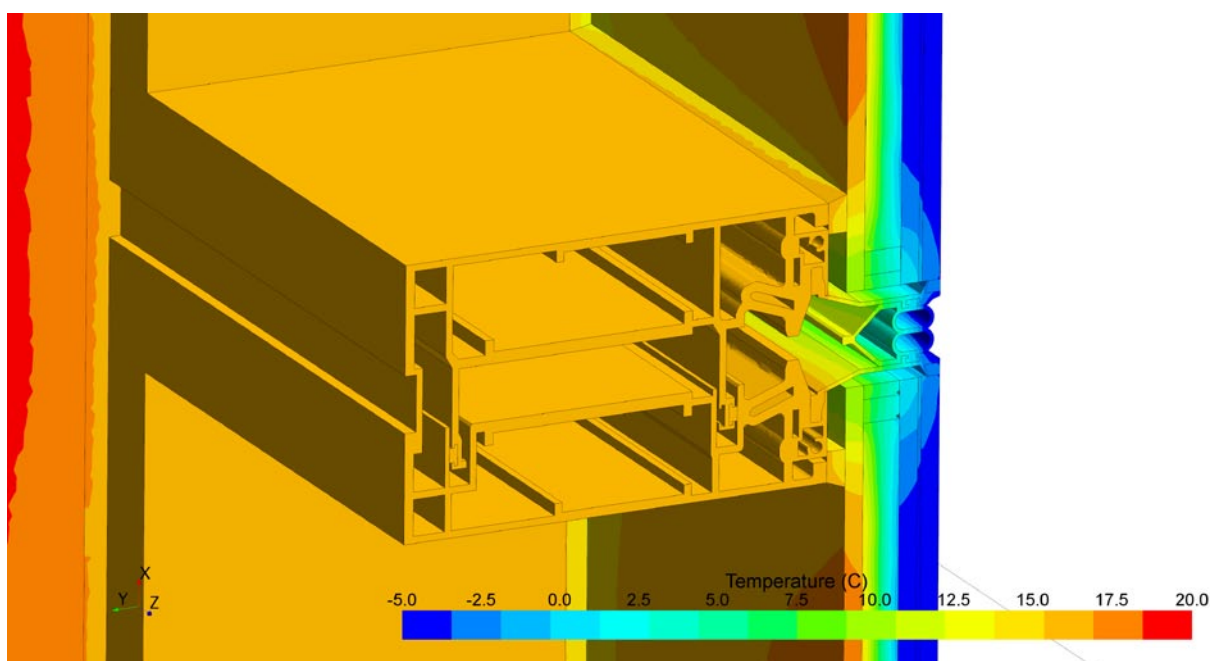
Что касается коэффициента внутренней теплоотдачи, то при использовании стандартных значений, минимальная температура на внутренней поверхности фасада будет существенно завышаться, так как стандартные значения

($\alpha_{\text{внутр}} = 8 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°К}$) учитывают нагрев стекла не только конвективной, но и радиационной компонентой от теплых стен и пола помещения (ASHRAE Handbook Fundamentals, Chapter "Fenestration"). В реальных же условиях тепловое излучение будет оказывать воздействие не на всю внутреннюю поверхность фасада. Отдельные элементы (узлы соединения профилей) фасада будут воспринимать теплоту только за счет конвективной составляющей теплового потока.

С учетом вышесказанного принята следующая постановка задачи:

- с наружной стороны вентилируемого фасада рассчитывалось движение потока воздуха, обтекающего элементы фасада, с формированием трехмерных полей скорости. Температура воздуха принималась -26 °С (наихудший вариант) и -10 °С , как наиболее характерный для региона
- со стороны помещения рассчитывалось движение внутреннего воздуха ($T = 21 \text{ °С}$) с особенностями

Рис. 3. Распределение температуры в объеме фасадной конструкции. Стойка. Наружная температура -10 °С , скорость в воздушной прослойке вентилируемого фасада $0,5 \text{ м/с}$.



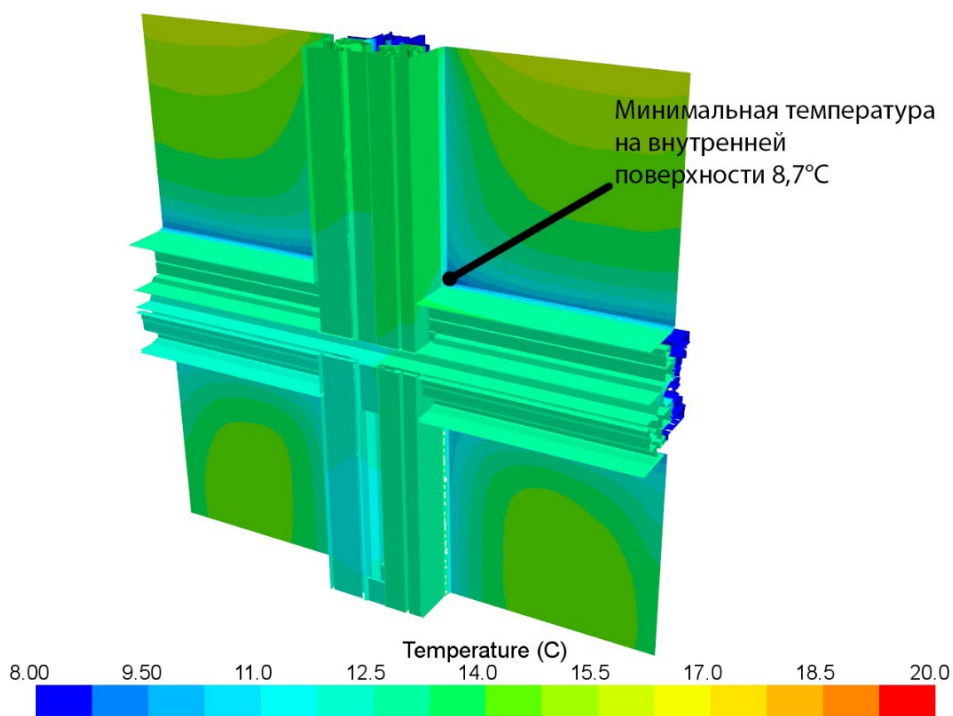


Рис. 4. Поле температуры на поверхности фасадной системы со стороны помещения для варианта наружной температуры $-26\text{ }^{\circ}\text{C}$ и скорости в воздушной прослойке вентилируемого фасада $0,5\text{ м/с}$

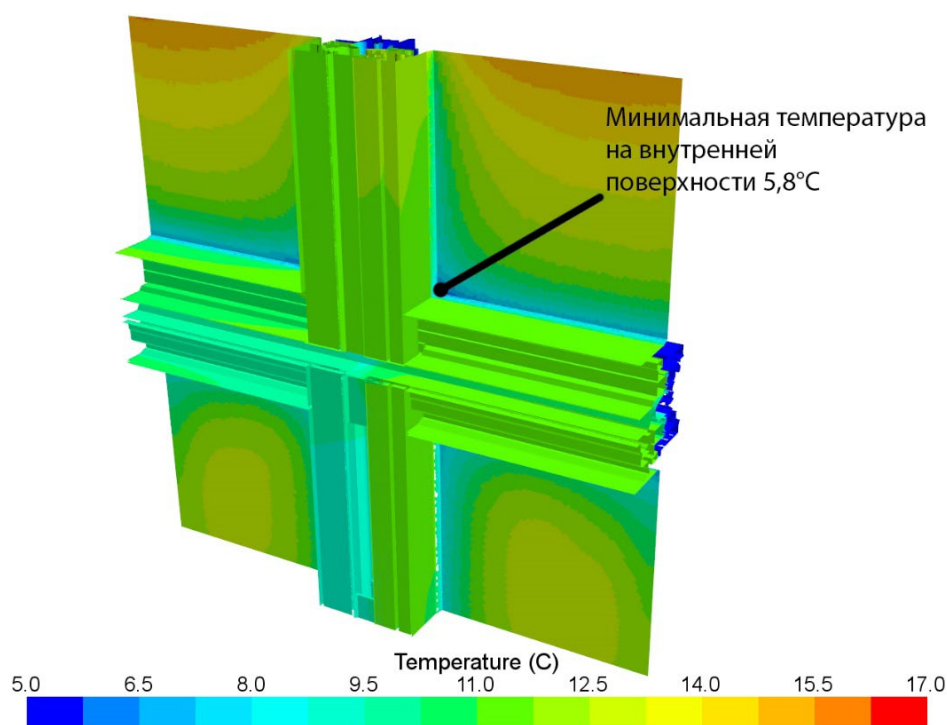


Рис. 5. Поле температуры на поверхности фасадной системы со стороны помещения для варианта наружной температуры $-26\text{ }^{\circ}\text{C}$ и скорости в воздушной прослойке вентилируемого фасада 2 м/с .

формирования трехмерного течения вблизи внутренней поверхности фасада.

Коэффициенты внутренней и внешней теплоотдачи при этом не задавались постоянными величинами по всей площади фасада, а получались в результате моделирования полей скорости потока у внутренней и наружной сторон фасада. Состав и свойства конструкции, принятые в модели, приведены в табл. 1.

При моделировании были учтены следующие материалы конструкции рамы (см. табл. 2).

Для оценки минимальных значений температуры на внутренних поверхностях фасадных систем расчеты были проведены для различных значений температуры и скорости воздуха в воздушном зазоре навесной фасадной системы. Результаты расчетов сведены в табл. 3.

Фрагменты температурных полей, полученных в объеме и на поверхности элементов фасадной системы, представлены на рис. 2–5. Как и предполагалось, минимальная температура на внутренних поверхностях остекления находится в угловых зонах пересечения профилей (рис. 4, 5).

Выполненные расчеты в формате 3D показали, что температура в угловой зоне фасадной конструкции при наличии теплопроводной элемента при наиболее неблагоприятных условиях ($t_n = -26\text{ }^{\circ}\text{C}$, скорость потока воздуха с наружной стороны фасадной конструкции 5 м/с) будет $4,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, что выше минимальных требуемых значений по п. 5.7 СП 50.13330–12.

Математическое моделирование следует также применять для определения аэродинамического режима застройки в месте расположения высотного здания. Анализ полей скорости и давления вблизи фасадов здания позволяет учесть дополнительные тепловые потери зданий, связанные с изменением коэффициентов теплоотдачи инфильтраци-

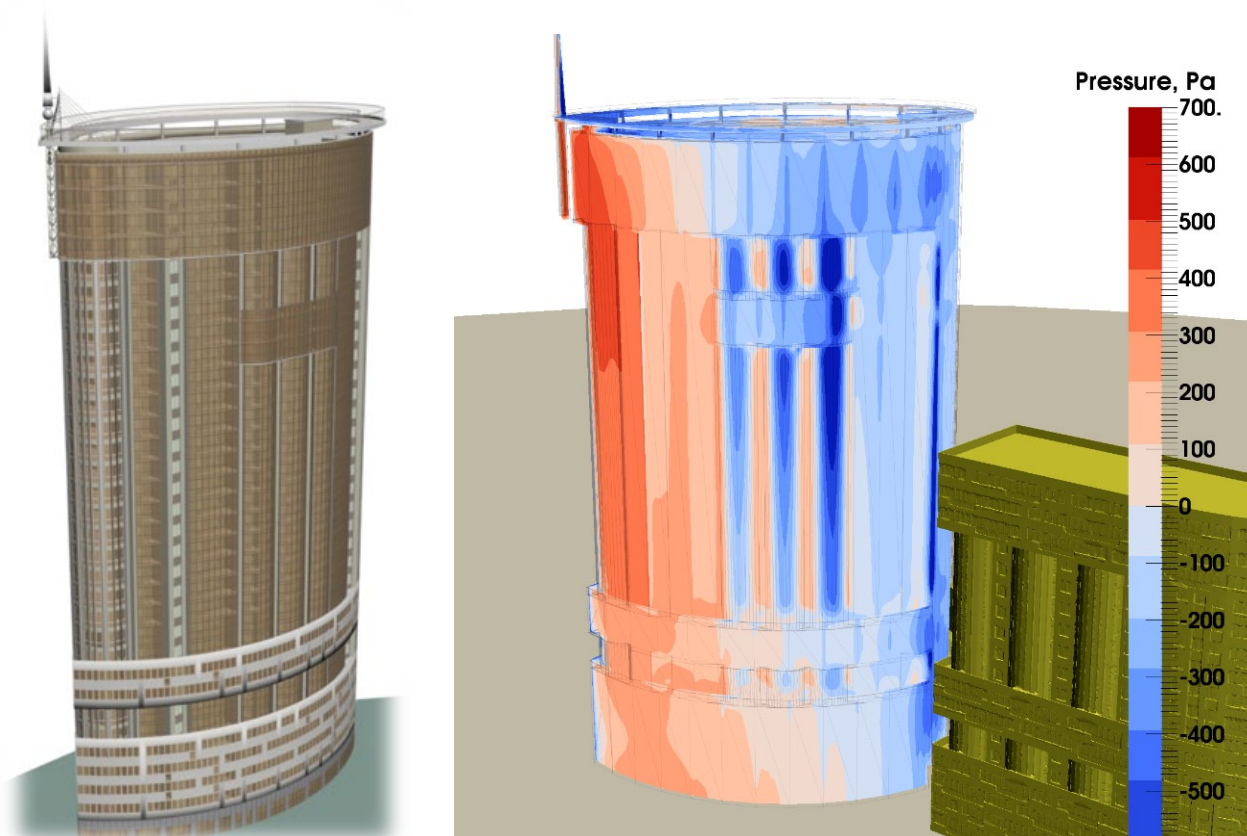


Рис. 6. 3-D модель высотного жилого дома и поля давлений на поверхности его фасада

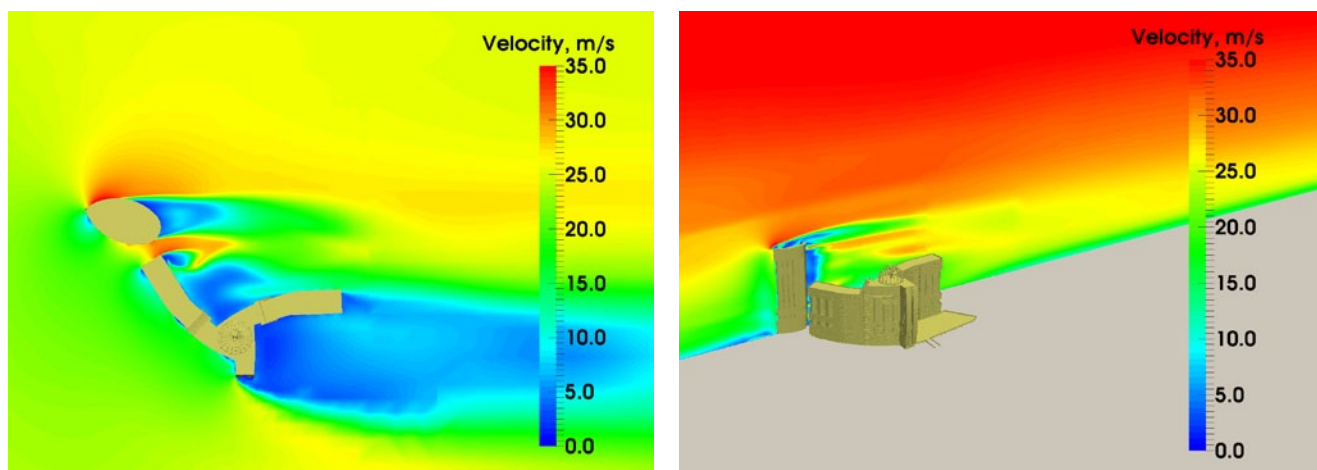


Рис. 7. Поле скорости, формирующееся при обтекании высотного жилого здания ветровым потоком.

ей, что позволяет при проектировании фасадов применять различные по тепло-техническим показателям фасадные конструкции без изменения внешнего вида. Особенно актуальны указанные эффекты для высотных зданий. Как пример, на рис. 6 и 7 приведены поля скорости и давления при взаимодействии здания с ветровым потоком.

ОБ АВТОРАХ

Тамара Дацюк – д-р. техн. наук, профессор, зав. каф. Строительной физики и химии, директор ИЦ физико-технических испытаний строительных конструкций СПбГАСУ (Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

Дарья Денисихина – канд. физ.-мат. наук, LEED AP BD+C, зам. ген. директора ООО «ММ-Технологии»

Александра Куренкова – директор, НИУПЦ «Межрегиональный институт окна»