



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА»
(МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА)

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ
МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
(НИИ МЕХАНИКИ МГУ)

УДК 691.539.216; 532.516:4

№ регистрации

Дата регистрации

Инв. №

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор НИИ механики МГУ



Ю.М. Окунев
_____ 2020 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ (заключительный)

по теме:

Оценка аэродинамической ситуации территории застройки и определение воздействия ветровых нагрузок на проектируемый объект: Деловой комплекс, «Корпус «В» – здание с крытой, отапливаемой аркадой, объединяющей корпуса «Б», «В», «Г», «Е» в единый Деловой комплекс, подлежащее строительству и входящее в состав Административно-торгового комплекса по адресу: г. Москва, пересечение Кутузовского проспекта и улицы Кульнева (ЗАО г. Москвы)

По договору №СБД-1276-ПК/107-С09/2020 от 13.02.2020 г. с ООО ТПО «ПРАЙД»

Руководитель работ:
зав. лаб. аэромеханики и
волновой динамики, к.ф.-м.н.,
доцент, советник РААСН

 С.В. Гувернюк

Москва 2020 г.

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Гувернюк С.В., зав. лабораторией, к.ф-м.н., доцент, советник РААСН;

Синявин А.А., старший научный сотрудник, к.ф-м.н.;

Зубков А.Ф., старший научный сотрудник, к.ф-м.н.;

Андронов П.Р., старший научный сотрудник, к.ф-м.н.;

Чулюнин А.Ю., научный сотрудник;

Малахова Т.В. ведущий программист;

Меснянкин С.Ю., ведущий инженер;

Евтютов Р.В., ведущий инженер;

Ласковый М.В., ведущий инженер.

Ляшко Г.А., ведущий инженер.

РЕФЕРАТ

Отчет содержит: 89 стр., 27 рис., 24 табл., 23 источн., 4 прилож.

НОРМАТИВНЫЙ ВЕТЕР, ВЕТРОВАЯ НАГРУЗКА, АЭРОДИНАМИЧЕСКАЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ, АЭРОФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Объект исследования –Административно-торговый комплекс по адресу: г. Москва, пересечение Кутузовского проспекта и улицы Кульнева (ЗАО г. Москвы.

Цель исследования – разработка рекомендаций по назначению расчетных ветровых нагрузок, которые необходимо учитывать при проектировании несущих конструкций и ограждающих систем объекта.

Метод исследования – комплексное аэрофизическое (экспериментальное) и математическое (компьютерное) моделирование обтекания воздушным потоком объекта с использованием специализированной аэродинамической трубы НИИ механики МГУ согласно методике ГОСТ Р 56728-2015 с учетом требований СП 20.13330.2011/2016.

Разработаны рекомендации по назначению наиболее неблагоприятных вариантов распределения ветровых нагрузок для проектирования ограждающих конструкций и каркаса корпуса «В», межбашенной входной группы и мостового перехода на 28-30 этаже между корпусами «А» и «Б», а также мезонина на 47 этаже корпуса «А» в составе Административно-торгового комплекса. Даны оценки характеристик снегопереноса на покрытиях корпуса «В» и межбашенного пространства между корпусами «А» и «Б». Определены распределения ветровых потоков на территории объекта и уровни относительной ветровой комфортности пешеходных зон.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

Термин	Обозначение, единица измерения	Определение	Примечание
Координата по высоте	z , м	Расстояние по вертикали от поверхности земли	Отсчитывается от уровня основания здания, $z > 0$
Атмосферное давление	p_a , Па	Параметры атмосферы	Определяются по ГОСТ 4401 для уровня на поверхности земли
Плотность воздуха	ρ , кг/м ³		
Динамический коэффициент вязкости	μ , Па·с		
Скорость нормативного ветра	U , м/с	Стационарная составляющая скорости горизонтального перемещения воздушных масс в ППС на высоте z	Возрастает с увеличением высоты z по степенному закону ГОСТ Р 56728-2015
Скоростной напор (ветровое давление)	q , Па	$q = 0,5\rho U^2$	–
Нормативное значение ветрового давления	w_0 , Па	Характерный уровень скоростного напора ветра	Назначается в зависимости от ветрового района независимо от типа местности (для условий Москвы $w_0=230$ Па)
Характерная скорость нормативного ветра	U_0 , м/с	$U_0 = (2w_0/\rho)^{0,5}$	Соответствует скоростному напору ветра $q=w_0$
Линейный масштаб профиля нормативного ветра	z_0 , м	Параметр нормативного ветра: высота $z=z_0$, на которой $q(z)=w_0$	ГОСТ Р 56728-2015
Показатель степени в формуле нормативного ветра	α , безразм.	Параметр степенного закона изменения нормативного ветра по высоте z	Зависит от типа местности, СП 20.13330.2016
Избыточное давление	Δp , Па	$\Delta p = p - p_a$	–
Ветровая нагрузка	w_m , Па	Стационарная составляющая избыточного давления на ограждающих конструкциях ($w_m = \overline{\Delta p}$)	Определяется для нормативного ветра
Аэродинамический коэффициент	c , безразм.	Сомножитель в выражении для определения w_m	Для простейших форм принимают по приложению «Д» в СП 20.13330.2011
Базовый (основной) аэродинамический коэффициент	C_m , безразм.	$C_m = \overline{\Delta p}/q(z_0)$, где z_0 – линейный масштаб нормативного ветра $q(z_0)=w_0$ (см. выше)	Универсальная характеристика ветрового воздействия, ГОСТ Р 56728-2015

Высота здания	h , м	Максимальная высота проектируемого сооружения	—
Коэффициент высоты	H , безразм.	$H = h / z_0$	Критерии подобия
Число Рейнольдса	Re , безразм.	$Re = \rho U_0 h / \mu$	
Коэффициент геометрического подобия	N , безразм.	Масштаб макета	
Высота уменьшенного макета здания	h_T , м	$h_T = h / N$	Используется при аэрофизическом моделировании
« h_q -фактор»	h_q , безразм.	$h_q = q(h_T) / q(h_T/2)$	Характеризует фактически реализованную неравномерность потока
x, y, z x_a, y_a, z_a	— связанная и поточная декартовы системы координат, м;		
e_x, e_y	— единичные орты вдоль горизонтальных осей x , y связанной системы координат;		
w_m, w_g	— средняя и пульсационная составляющие нормативной ветровой нагрузки на фасадах здания, Па;		
$w_{(+)(-)}$	— экстремальные пиковые значения местной ветровой нагрузки на единицу площади фасада при обходе по всем азимутам ветра, Па;		
β	— условный азимут настилающего ветра (угол отклонения вектора скорости горизонтального ветрового потока от направления оси x связанной системы координат, $0^\circ < \beta < 360^\circ$);		
j	— индекс нумерации дренажных точек на поверхности макетов комплекса;		

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1. ОБЪЕКТ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ	12
1.1 Общие положения	12
1.2 Выбор параметров нормативного ветра	15
1.3 Методика аэрофизического моделирования	17
1.4 Методика компьютерного моделирования	19
1.5 Методика определения пиковых ветровых нагрузок	24
1.6 Системы координат, схема маркировки корпусов объекта	28
2. РЕЗУЛЬТАТЫ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ	29
2.1 Ветровые нагрузки на фасадах и покрытии корпуса «В»	30
2.2 Ветровые нагрузки на покрытии входной группы	38
2.3 Характеристики снегопереноса и снегоотложений на покрытии корпуса «В» и входной группы между башнями «А», «Б»	42
2.4 О влиянии мезонина на покрытии башни «А» и мостового перехода между башнями «А», «Б»	46
2.5 Оценки уровней относительной ветровой комфортности пешеходных зон	50
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	62
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	64
ПРИЛОЖЕНИЕ А Оборудование и программное обеспечение	66
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Таблицы распределений C_m на фасадах и покрытии корпуса «В»	70
ПРИЛОЖЕНИЕ В Таблицы распределений C_m на покрытии входной группы между корпусами «А», «Б»	78
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Характеристики снегоотложений	82

ВВЕДЕНИЕ

Административно-торговый комплекс с подземной автостоянкой» по адресу г. Москва, ЗАО, на пересечении Кутузовского проспекта и улицы Кульнева состоит из разномасштабных близко расположенных корпусов А, Б, В, Г и ряда промежуточных сооружений. Вместе они составляют сложную геометрическую конфигурацию, в которой взаимная аэродинамическая интерференция элементов существенно влияет на распределения ветровых нагрузок. (рис. 0.1).

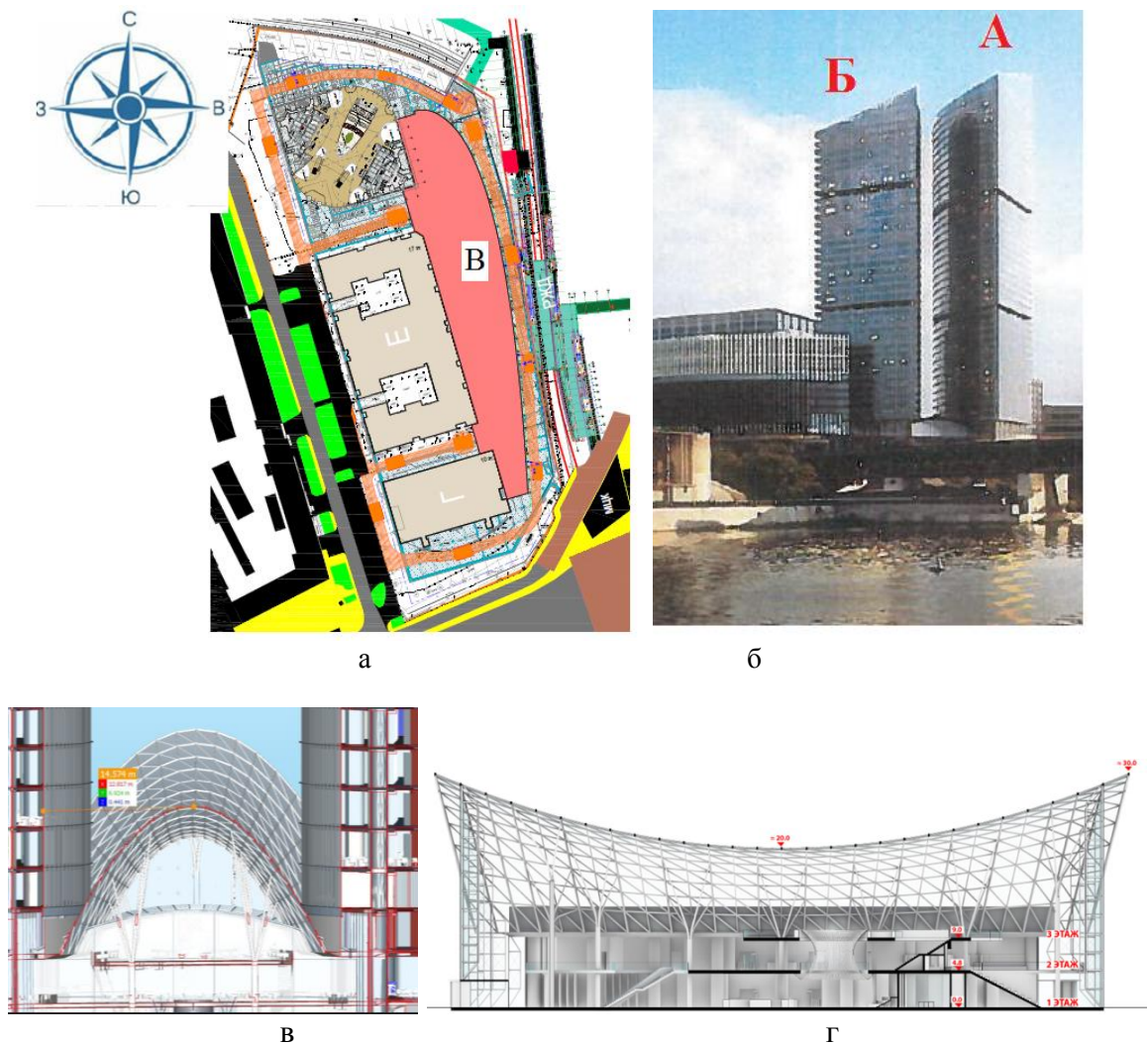


Рис. 0.1 Ситуационный план (а); некоторые из вариантов дизайнерской концепции (б-г)

Цель исследования – разработка рекомендаций по назначению наиболее неблагоприятных вариантов распределения ветровых нагрузок для расчёта ограждающих конструкций и каркаса корпуса «В», межбашенного

пространства между башнями «А» и «Б», мостового перехода на 28-30 этаже между башнями «А» и «Б», и мезонина на 47 этаже башни «А» в составе Административно-торговый комплекс с подземной автостоянкой на основе комплексного расчетно-экспериментального моделирования по методике ГОСТ Р 56728-2015 с учетом нормативов СП 20.13330.2011/2016 и данных научно-технических источников. Определение уровней относительной ветровой комфортности пешеходных зон на территории объекта. Работа проводится с учетом ранее полученных результатов [23] исследования ветровых нагрузок на высотные элементы «А» и «Б» в составе комплекса.

В нормативных документах [1, 2] отсутствуют данные о назначении аэродинамических коэффициентов на объекты подобной конфигурации. Основываясь на опыте аэродинамических испытаний сооружений, расположенных внутри городской застройки, можно отметить, что ветровые нагрузки в данном случае будут существенно зависеть от геометрии и взаимного расположения элементов объекта. Таким образом, исходно отсутствуют данные об аэродинамических коэффициентах, которые можно было бы взять из справочной или научно-технической литературы и обоснованно использовать при разработке рекомендаций по назначению расчетных ветровых нагрузок для данного объекта.

Обоснованные расчетные значения ветровых нагрузок могут быть получены на основе результатов соответствующим образом организованных модельных аэродинамических исследований с использованием специализированных аэродинамических труб, оснащенных средствами создания сдвигового профиля скорости $U(z)$, соответствующего нормативному ветру для данного типа местности [1, 2] в районе застройки. При этом наиболее полные представления о распределении струйно-вихревых воздушных потоков, взаимодействующих с объектом, могут быть получены с использованием сопутствующего компьютерного моделирования в рамках современных вычислительных CFD технологий [2, 13,14].

В настоящем отчете применена комплексная расчетно-экспериментальная методика совместного аэрофизического и компьютерного моделирования нестационарного трехмерного обтекания объекта в сдвиговом воздушном потоке, имитирующем структуру неравномерности нормативного ветра в приземном пограничном слое, с учетом взаимной аэродинамической интерференции корпусов объекта.

В соответствии с ТЗ выполнены следующие работы.

- Изготовление и инструментальное оснащение макетов корпуса «В», модифицированного межбашенного сооружения между башнями «А» и «Б», мостового перехода на 28-30 этаже между башнями «А» и «Б», и мезонина на 47 этаже башни «А»..
- Проведение испытаний в аэродинамической трубе¹ с определением распределений ветровых нагрузок (средней и пульсационной) на поверхностях модифицированных элементах комплекса, а также в характерных контрольных точках на фасадах башен «А», «Б» (дренажные испытания) и определение картин снегоотложений на покрытиях корпуса «В» и межбашенного пространства между корпусами А, Б при варьировании направлений настилающего ветра.
- Математическое CFD-моделирование² распределений ветровых потоков на территории комплекса.
- Статистическая обработка, численный и графический анализ результатов аэрофизических измерений в аэродинамической трубе и результатов компьютерного моделирования. Определение распределений аэродинамических коэффициентов ветровой нагрузки на фасадах корпуса «В», модифицированного межбашенного сооружения между башнями «А» и «Б» и мостового перехода на 28-30 этаже между башнями «А» и «Б». Оценка уровней относительной ветровой

¹ В работе использована аэродинамическая труба А-6 НИИ механики МГУ (см. описание в приложении А).

²Применяемая RANS/URANS вычислительная технология описана в разделе 2.4.

комфортности пешеходных зон на территории объекта. Определение пиковых значений знакопеременного ветрового давления на фасадах корпусов.

- Разработка рекомендаций по учету ветровых воздействий, включая вопросы о влиянии надстройки на корпусе «А» и изменений архитектурно-планировочных решений межбашенного пространства между корпусами «А» и «Б».

1 ОБЪЕКТ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Общие положения

1.1.1 Нормативный ветер характеризуется заданным законом увеличения среднего скоростного напора $q(z)$ с высотой над уровнем земли в месте расположения объекта строительства. Принятый в СП 20.13330.2011/2016 [1] норматив увеличения ветрового давления с высотой в приземном пограничном слое соответствует степенному закону изменения средней скорости настилающего ветра (ГОСТ Р 56728-2015 [2]). Многочисленные известные разновидности этого закона [1, 3–8] эквивалентны записи [9], принятой также в [2]

$$U(z) = U_0 (z / z_0)^\alpha \quad (1.1)$$

где $U_0 = (2w_0/\rho)^{0.5}$ – средняя скорость горизонтального ветра на высоте $z = z_0$; w_0 – нормативное значение ветрового давления, зависящее от ветрового района согласно классификатору в [1].

В формуле (1.1) безразмерный показатель степени α и линейный масштаб нормативного ветра z_0 м, зависят только от типа шероховатости местности (А, В, С [1, 2]) со значениями констант [9], представленных в таблице 1.1

Таблица 1.1 – Линейный масштаб нормативного ветра

Тип местности	А	В	С
α	0.15	0.2	0.25
z_0 , м	10	30.5	60

Соответствующий выражению (1.1) скоростной напор на высоте z (динамическое давление потока) вычисляется по формуле:

$$q(z) = w_0 (z / z_0)^{2\alpha}, \quad (1.2)$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м³.

Физический смысл параметра z_0 состоит в том, что на высоте $z = z_0$ над уровнем земли скоростной напор $q(z_0)$ в нормативном ветре совпадает с нормативным значением ветрового давления w_0 для любого ветрового района [22]. Таким образом, величина z_0 характеризует линейный масштаб структуры неравномерности нормативного ветра [2].

1.1.2 Современные аэродинамические исследования нормативных ветровых нагрузок на здания и сооружения (для условий нормативного ветра) проводятся методами аэрофизического эксперимента в аэротрубах и математического моделирования (компьютерные CFD-технологии). Исторически первым является аэрофизический метод. При этом появившиеся относительно недавно возможности практического применения компьютерного моделирования являются полезным дополнением аэрофизического эксперимента, однако еще не могут стать тотальной его заменой по ряду важных показателей [14]. К сожалению, активная пропаганда со стороны производителей коммерческих CFD-пакетов привела к тому, что среди проектировщиков распространилось заблуждение, толкающее их отдавать предпочтение CFD-моделированию, что, на самом деле, чревато получением недостоверной информации, особенно – в части определения пиковых значений ветровых нагрузок, необходимых для проектирования ограждающих конструкций (см. далее п.1.2.4).

1.1.3 Указания на необходимость проведения исследований в аэродинамических трубах содержатся во всех версиях СП 20.13330, начиная с исходного СНиП 2.01.07-85*. Технология экспериментального (аэрофизического) моделирования состоит в реализации в аэродинамической трубе обтекания макета проектируемого сооружения (и аэродинамически значимых элементов окружающей застройки) неравномерным воздушным потоком, имитирующим нормативный ветер. Для этого необходимо использовать аэродинамические трубы, оснащенные средствами создания неравномерного профиля скорости воздушного потока, имитирующего

структуру нормативного ветра в соответствующем уменьшенном линейном масштабе. Детализация требований к аэрофизическому моделированию приводится в ГОСТ Р 56728-2015 (п. 5.4) и в СП 20.13330.2016 (п. 11.1.7).

Полезные дополнительные данные о распределении струйно-вихревых воздушных потоков вокруг исследуемых объектов могут быть получены на основе компьютерного моделирования в рамках современных вычислительных технологий [6, 9, 13,17].

1.1.4 Технология компьютерного моделирования должна обеспечить численное воспроизведение обтекания нормативным ветром проектируемого сооружения и аэродинамически значимых объектов окружающей застройки. Как правило, используют вычислительные технологии, базирующиеся на классической модели вязкой несжимаемой жидкости постоянной плотности при отсутствии внешних массовых сил (ГОСТ Р 56728-2015, раздел 5.5).

Первым стандартом, содержащим указания на возможность и условия применения методов CFD компьютерного моделирования, явился ГОСТ 56728-2015 – [2], разработанный специалистами МГУ им. М.В. Ломоносова. Затем аналогичное указание о возможности применения «математического (численного) моделирования ветровой аэродинамики» появилось в новой версии СП 20.13330.2016 (с исправлениями №1 и №2, п.11.1.7). Однако в этом СП не представлен ряд принципиально важных требований к обеспечению достоверности результатов численного (CFD) моделирования, которые неоднократно отмечались в научно-технической литературе [2, 6, 12–14 и др.]. Вместо этого лишь абстрактно упоминается требование об использовании «адекватных моделей турбулентности» в «современных лицензионных программных комплексах».

1.1.5 Опыт проведения аэрофизических (в аэродинамической трубе) и математических исследований показывает, что CFD-расчеты в рамках современных компьютерных технологий инженерного анализа способны давать вполне адекватные результаты в части распределения струйно-

вихревых потоков на территории застройки, а также распределений средних ветровых нагрузок на поверхности здания. И эти данные допустимо использовать для определения стационарных (средних) составляющих ветровых нагрузок, необходимых при проектировании несущих конструкций зданий (с учетом поправок на присущее указанным CFD-расчетам завышение значений ветрового отсоса в отрывных зонах, особенно – в окрестности угловых кромок фасадов). Однако, для непосредственного определения пиковых ветровых нагрузок CFD-расчеты на базе RANS/URANS технологий непригодны [13–14].

В общем, до настоящего времени остается справедливым вывод [14] о том, что существующие CFD-технологии позволяют, с одной стороны, получать ряд полезных результатов при решении практических задач строительной аэродинамики, однако, с другой стороны, они еще не способны стать тотальной альтернативой методам физического моделирования в аэродинамических трубах и традиционным аналитическим нормативным методикам. На современном этапе наиболее рациональным является расчетно-экспериментальный подход, сочетающий преимущества экспериментального и компьютерного моделирования в рамках одного проекта.

1.2 Выбор параметров нормативного ветра

Город Москва относится к первому ветровому району [1], для него

$$w_0=230 \text{ Па} \quad \text{и} \quad U_0=19.2 \text{ м/с}^3 \quad (1.3)$$

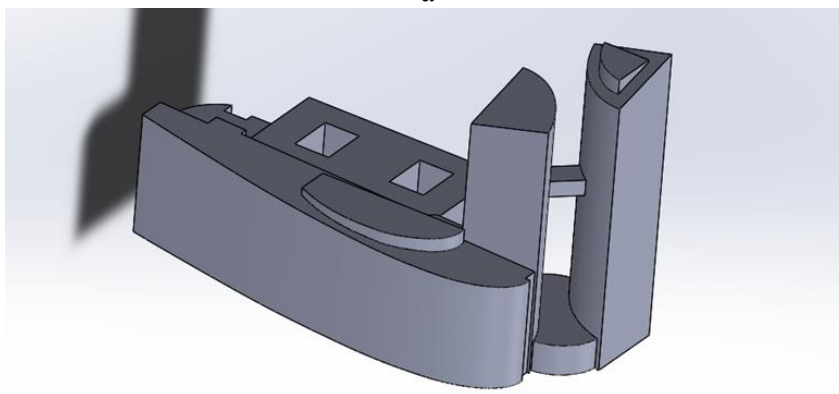
Анализ ситуационного плана в окрестности зданий комплекса и др. документации, предоставленной Заказчиком, показал, что для исследуемого комплекса зданий тип местности по всем направлениям ветра в среднем близок к типу местности «В» (по классификатору [1]). С учетом формулы (2.2) и таблицы 2.1 это означает, что нормативное значение ветрового давления $w_0=230 \text{ Па}$ достигается на характерной высоте $z = z_0 = 30.5 \text{ м}$, и в

³ По формуле $U_0 = (2w_0/\rho)^{0.5}$ при средней плотности воздуха $\rho = 1.25 \text{ кг/м}^3$.

степенных законах (2.1)-(2.2) следует принимать $\alpha = 0.2$. Соответствующий профиль скоростного напора настилающего ветра обобщенно моделирует наличие многочисленных элементов дальней застройки и должен быть сформирован в аэродинамической трубе, этот профиль также следует задавать на входе в расчетную область при математическом (компьютерном) моделировании (рис. 1.1).



а



б

Рис. 1.1 Макет объекта в аэродинамической трубе (а) и цифровая 3D-модель (б) при аэрофизическом (а) и компьютерном (б) моделировании

1.3 Методика аэрофизического моделирования

1.3.1 Целью аэрофизического моделирования является определение аэродинамических характеристик взаимодействия объекта с нормативным ветром (с учетом непосредственного влияния элементов ближней застройки). Для этого используется специализированная аэродинамическая труба АДТ А-6 МГУ [10], оснащенная средствами создания сдвиговой неравномерности воздушного потока за счет специально подобранной комбинации поперечных сетчато-решетчатых экранов переменной воздухопроницаемости (см. Приложение А). Профиль скоростного напора во время эксперимента измеряется с помощью гребенки приемников давления. Контрольные замеры параметров турбулентности выполняются с помощью термоанемометра (п. А.4 в Приложении А).

1.3.2 Макет комплекса для испытаний в аэродинамической трубе был изготовлен с соблюдением правил геометрического подобия. Его высота h_t выбрана из условий соблюдения установленных для данной трубы ограничений на степень загромождения поперечного сечения рабочей части. Коэффициент геометрического подобия $N = h/h_t$ макета по отношению к высоте исследуемого натурного объекта (максимальной высоты $h=192$ м) составил $N = 300$.

На рис.1.1,а и рис. 1.2 представлены фотоснимки макета объекта на рабочем столе в аэродинамической трубе (на рис. 1.1,а – вид против направления воздушного потока, на заднем плане – поперечный сетчато-решетчатый экран, формирующий заданный сдвиговой профиль скоростного напора ветра⁴). Соответствующий линейный масштаб неоднородности $z_{0т}$ [2] моделируемого в аэродинамической трубе нормативного ветра типа В составил

$$z_{0т} = 30.5 \text{ м} / N = 102 \text{ мм} \quad (1.4)$$

⁴ См. Приложение А

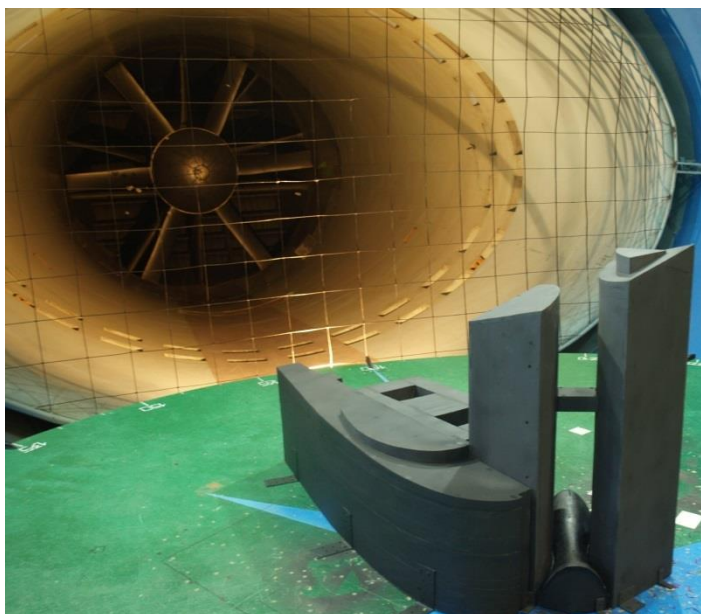


Рис. й.2 Макет комплекса в аэродинамической трубе – вид по направлению потока

Макет объекта был препарирован 137-ю приемниками давления, распределенными по 3-м корпусам «А», «Б», «В», а также по переходу между корпусами «А» и «Б» и покрытию входной группы между корпусами «А» и «Б» (более подробная информация о размещении контрольных точек на поверхностях перечисленных элементов комплекса дается в соответствующих разделах и приложениях).

1.3.3 В процессе испытаний в аэродинамической трубе измеряется характерный скоростной напор $q(h_t)$ набегающего потока на высоте h_t и значения избыточного давления Δp_j в контрольных дренажных точках $j=1, 2$, на поверхностях макета, по которым затем определяется безразмерный коэффициент давления

$$C_{pj} = \Delta p_j / q(h_t). \quad (1.5)$$

и его осредненное по времени значение $\overline{C_{pj}}$. На основании теории подобия и размерностей, этот коэффициент может зависеть только от безразмерных определяющих параметров, таких как угол атаки β и число Рейнольдса. Натурное число Рейнольдса, вычисленное по характерной скорости $U_0=19$ м/с и характерному поперечному размеру комплекса $d=40$ м

составляет $Re = 3.8 \cdot 10^7$. Характерная скорость воздушного потока в трубе выбирается достаточной для обеспечения *автомоделности* по числу Рейнольдса, когда дальнейшее увеличение скорости не приводит к существенному изменению осредненных значений $\overline{C_{pj}}$ в контрольных точках на макете. Это дает основания переносить данные о безразмерных аэродинамических коэффициентах, полученных на основании испытаний в масштабных макетах объекта в аэродинамической трубе, на натурные условия.

1.3.4 Зачетная серия экспериментов в АДТ выполнена при скорости потока $V_T = 19$ м/с при $z_T = h_T$ для типа ветра «В» и с учетом интерференции от объектов ближней застройки. Важным методическим моментом представления результатов дренажных измерений в неравномерном набегающем потоке является вычисление базового (основного) аэродинамического коэффициента C_m , определяемого по методике [2] как:

$$C_m = \frac{(\overline{\Delta p_j})_{\text{измеренное}}}{q_{0T}}, \quad (1.6)$$

где q_{0T} – значение скоростного напора $q(z_{0T})$, измеренное в неравномерном потоке в аэродинамической трубе на высоте z_{0T} , соответствующей отметке $z = z_0$ для нормативного ветра в натуральных условиях (см. п. 1.3.2 и формулу (1.4)). Благодаря такому представлению, нормативное значение средней ветровой нагрузки w_m на ограждающие конструкции проектируемого комплекса определяется следующим простым соотношением:

$$w_m = w_0 C_m \quad (1.7)$$

где w_0 – нормативное значение ветрового давления, зависящее от ветрового района согласно классификатору в [1, 2] (в данном случае для условий Москвы $w_0 = 230$ Па), а коэффициент C_m получен из эксперимента по формуле (1.6).

П р и м е ч а н и е – Базовый (основной) аэродинамический коэффициент ветровой нагрузки C_m – введен в [2] как универсальный для практического использования безразмерный критерий ветрового воздействия на строительные объекты. В нем учитывается влияние всех факторов, влияющих на взаимодействие проектируемого здания с нормативным ветром, в том числе таких, как высота и форма сооружения, относительное направление и структура настилающего ветра, аэродинамическая интерференция от соседних соизмеримых объектов. По C_m можно вычислить значения используемого в [1] аэродинамического коэффициента c как $c = C_m / k(z_e)$ с учетом приведенных в [1, 2] формул для w_m и $z_e(z)$.

1.4 Методика компьютерного моделирования

Технология математического моделирования должна обеспечить численное воспроизведение обтекания нормативным ветром проектируемого сооружения и аэродинамически значимых объектов окружающей застройки.

Расчетные параметрические исследования выполнены методом компьютерного моделирования трехмерного турбулентного обтекания объекта сдвиговым ветровым потоком со степенным профилем скорости (1.1). Используется вычислительная технология RANS/URANS основанная на решении осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье–Стокса вязкой эффективно несжимаемой жидкости, замыкаемых с помощью одно- или двухпараметрических дифференциальных моделей турбулентности. Вычислительные коды реализованы в программной среде открытого пакета Open FOAMv1812 и верифицированы с помощью лицензионного программного комплекса ANSYS Fluent (лицензия ANSYS Research Mechanical and CFD # 1-829915559)⁵. Учитываются требования ГОСТ Р 56728-2015 (раздел 5.5) и методические рекомендации [13–14]. В частности, используется геометрически подобная масштабная модель объекта 1:N, где также как в эксперименте принято $N = 300$. Это позволило обеспечить достаточное пространственное разрешение взаимодействующих с объектом

⁵ См. сертификат на рис. А.7 в Приложении А.

ветровых потоков и пристеночных областей с помощью расчетных сеток с умеренным числом ячеек – до 14 млн. В качестве граничных условий на вертикальных входных границах в расчетную область задается вектор средней скорости горизонтального ветрового потока $\mathbf{V} = (\mathbf{e}_x \cos \beta + \mathbf{e}_y \sin \beta) U(z)$ с нормативным сдвиговым профилем $U(z)$ согласно (1.1), а также интенсивность турбулентных пульсаций I и масштаб турбулентности $\Lambda (I=1\%, \Lambda = 0.01 h)$. На нижней и на внутренних границах ставилось условие прилипания (нулевая скорость потока). На выходных границах – так называемые «мягкие условия».

Были выполнены отладочные методические исследования по выбору размеров расчетной области, структуры и размерности расчетных сеток, подходящей модели турбулентности, получению оценок сеточной сходимости на основе проведения тестовых расчетов.

В результате выбрана $k-\omega$ SST модель турбулентности и принята расчетная область с границами, удаленными от модели комплекса на 15.5 h вверх по потоку, на 15.5 h – в поперечных направлениях, на 31 h – вниз по потоку и на 7 h – в вертикальном направлении над моделью (здесь h – максимальная высота модели комплекса в указанном выше масштабе моделирования).

Общий вид расчетной области и ее фрагмент с разномасштабными объемными ячейками расчетной сетки со сгущением в окрестности исследуемого комплекса показаны на рис. 1.3–1.4.

На рис. 1.5 – рис. 1.6 представлены примеры расчетных картин различных типов компьютерной визуализации воздушных потоков и распределений ветровой нагрузки при взаимодействии нормативного ветра типа B с элементами исследуемого объекта.

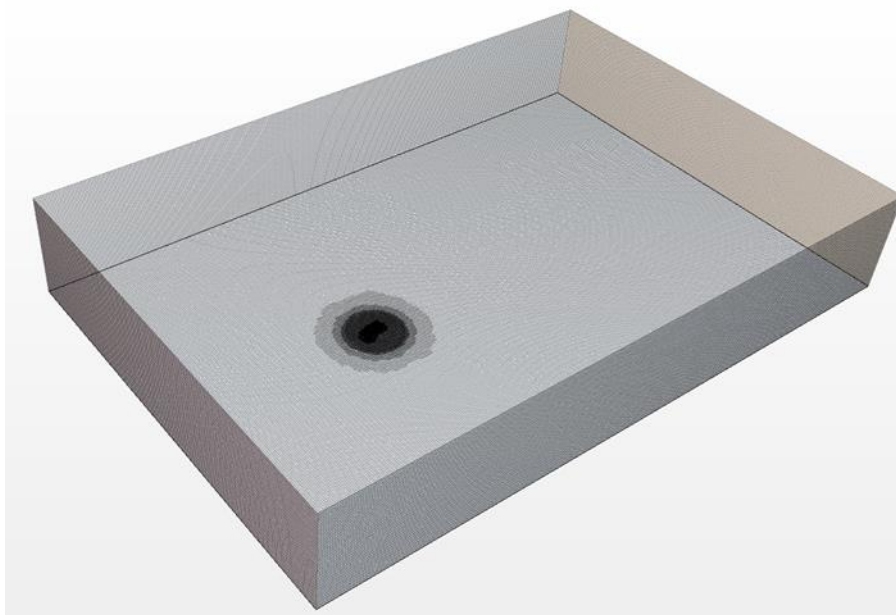


Рис. 1.3 Общие габариты трехмерной расчетной области, содержащей макет комплекса

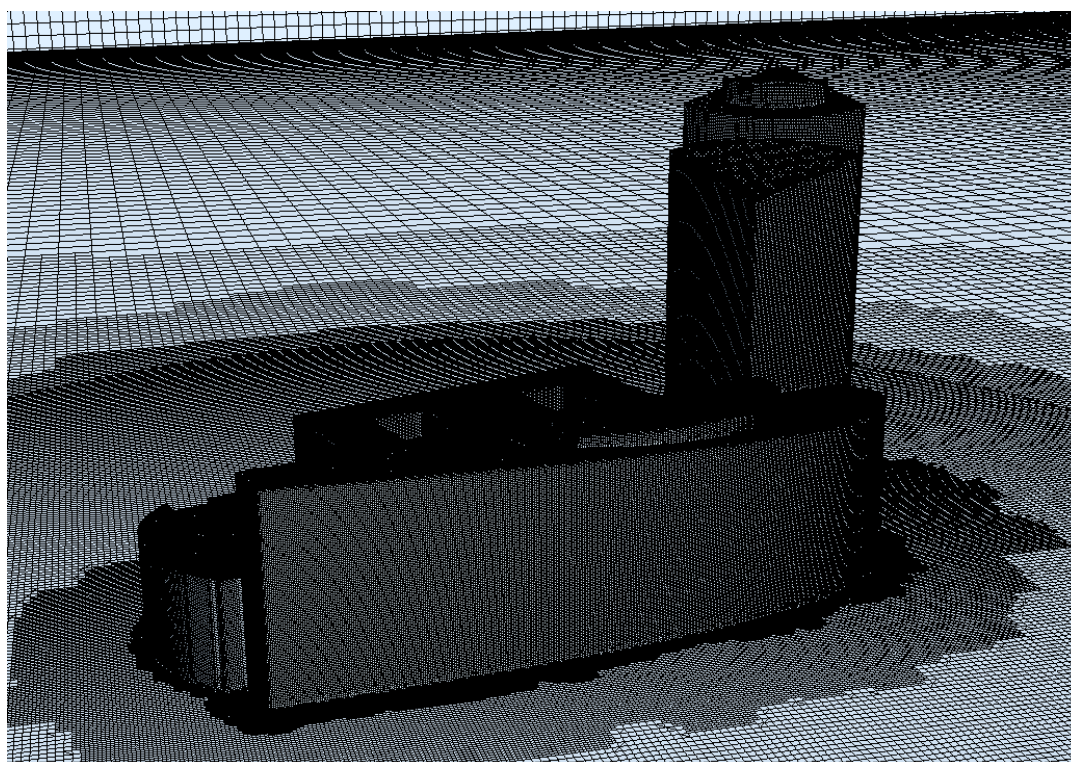


Рис. 1.4 Фрагмент трехмерной расчетной сетки в окрестности объекта

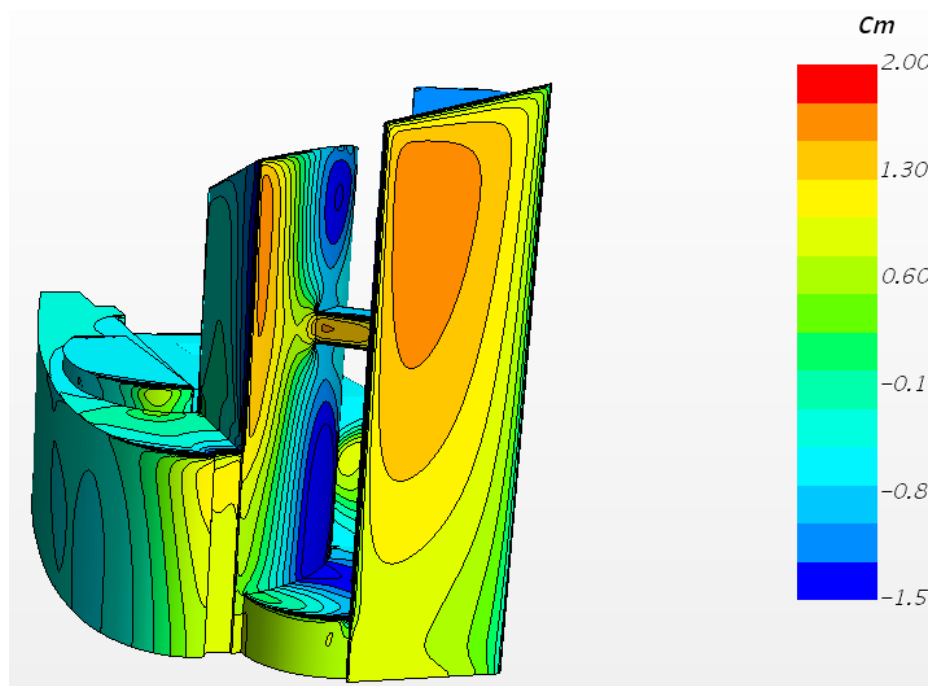


Рис. 1.5 Пример компьютерной визуализация распределений базового коэффициента ветрового давления C_m на открытых поверхностях элементов объекта

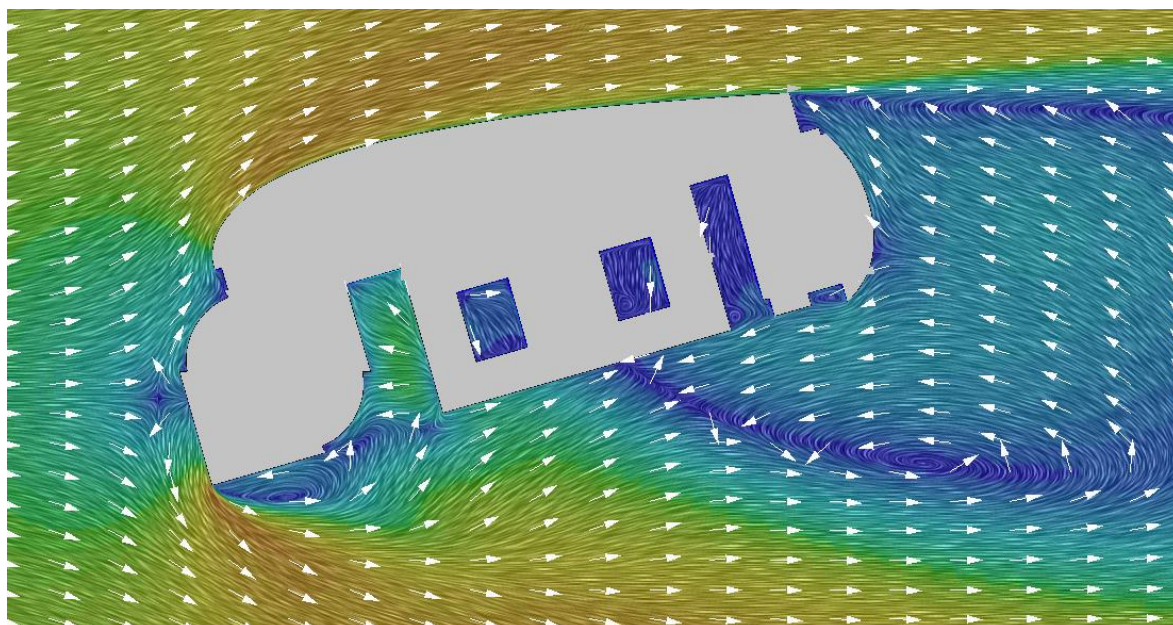


Рис. 1.6 Пример распределения вектора скорости воздушных потоков на территории комплекса и примыкающей территории ($z = 1.5$ м)

1.5 Методика определения пиковых ветровых нагрузок

Пульсации давления на фасадах комплекса зданий зависят не только от структуры набегающего ветрового потока и содержащихся в нем первичных пульсаций, но также формируются в результате срыва вихрей с наветренных кромок самих зданий (вторичные пульсации). Как показывает практика, аэродинамические коэффициенты пикового (положительного и отрицательного) давления существенно зависят от геометрических параметров зданий и их взаимного расположения, причем пиковые значения аэродинамических коэффициентов могут превышать их средние значения. Учет пульсаций важен при определении знакопеременных ветровых воздействий на элементы ограждающих конструкций и навесных фасадных систем. Для каждого конструктивного элемента ограждения в качестве расчетной ветровой нагрузки принимается ее значение ($w_{(+)}$ и $w_{(-)}$), реализующее наиболее неблагоприятный вариант нагружения. Согласно п. 11.2 СП 20.13330.2011/2016 нормативные значения пиковой ветровой нагрузки определяются выражением

$$w_{(+)(-)} = w_0 k(z_e) (1 + \zeta(z_e)) c_{p,(+)(-)} v_{(+)(-)} \quad (1.8)$$

где w_0 – нормативное значение давления ветра; z_e – эффективная высота; k , ζ – коэффициенты, учитывающие изменение давления и пульсаций давления настилающего ветра на высоте z_e ; $v_{(+)(-)}$ – коэффициенты корреляции положительной (+) и отрицательной (-) ветровой нагрузки; $c_{p,(+)(-)}$ – пиковые значения аэродинамического коэффициента [1]. В данном случае:

$w_0 = 230$ Па – для первого ветрового района;

$v_{(+)(-)} = 1$ – для площади ограждения $S \leq 2 \text{ м}^2$ (с которой собирается ветровая нагрузка на элементы фасадной конструкции⁶).

При этом неизвестным остается аэродинамический коэффициент $c_{p,(+)(-)}$. Для его определения необходимо проведение модельных испытаний в

⁶При $S > 2 \text{ м}^2$ – значения $v_{(+)(-)}$ следует принимать по СП 20.13330.2016 (табл. 1.8).

аэродинамической трубе. В эксперименте регистрируются большие выборки (до 15 тыс. отсчетов) нестационарных показаний датчиков ветрового давления Δp_j , по ним определяется средняя составляющая $\overline{\Delta p_j}$, а также среднеквадратичное отклонение. При надлежащей нормировке этих величин на характерный скоростной напор $q(z_{0T})$ (п. 1.3.4) получаем базовый аэродинамический коэффициент C_m и среднеквадратичное отклонение $\sigma(z, \beta, j)$.

Положительные и отрицательные экстремальные аэродинамические нагрузки $w_{(+)}$ и $w_{(-)}$, действующие на высоте z в контрольной точке j на ограждающих конструкциях фасадов макета здания в аэродинамической трубе, определяются экспериментально с помощью структурной формулы⁷:

$$w_{(+)(-)} = w_0 C_{peak(+)(-)}, \quad (1.9)$$

$$\begin{aligned} C_{peak(+)}(z, j) &= \max_{0 < \beta < 360^\circ} [C_m(z, \beta, j) + 3\sigma(\beta, j, z)] \\ C_{peak(-)}(z, j) &= \min_{0 < \beta < 360^\circ} [C_m(z, \beta, j) - 3\sigma(\beta, j, z)] \end{aligned} \quad (1.10)$$

где C_{peak} – экстремальное по всем азимутам β значение базового аэродинамического коэффициента положительного давления (+) или ветрового отсоса (-) с учетом вклада вторичных пульсаций на высоте z в контрольной точке j на поверхности фасада; σ – среднеквадратичное отклонение измеренной нестационарной величины w/w_0 от среднего значения C_m .

Согласно нормативам СП 20.13330.2011/2016, пульсационная составляющая w_p ветрового давления определяется через соответствующие значения средней составляющей w_m как $w_p = w_m \zeta(z_e)$, где коэффициент ζ учитывает изменение интенсивности пульсаций в настиляющем ветре по высоте z и задан таблицей в СП 20.13330.2011 (п. 11.4 в [1]) и аппроксимационной формулой в [1]. Для типа местности «В» достаточно точную аппроксимацию дает формула [9]

⁷Методика НИИСФ РААСН и НИИ механики МГУ [4, 9].

$$\text{тип В: } \zeta(z) = 0.85 \cdot (z / 30.5 \text{ м})^{-0.2} \quad (1.11)$$

и тогда для определения положительных и отрицательных пиковых значений ветрового давления $w_{(+)(-)}$ получаются альтернативные (1.9) соотношения

$$\begin{aligned} w_{(+)}(z, j) &= w_0 \cdot \max_{0 < \beta < 360^\circ} [C_m(\beta, j, z)] (1 + \zeta(z)) \cdot \gamma \\ w_{(-)}(z, j) &= w_0 \cdot \min_{0 < \beta < 360^\circ} [C_m(\beta, j, z)] (1 + \zeta(z)) \cdot \gamma \end{aligned} \quad (1.12)$$

По сути, формулы (1.12) учитывают первичные пульсации скоростного напора [4–9] в настиляющем ветре. С другой стороны, если первичные пульсации скоростного напора в природном приземном слое при моделировании настиляющего ветрового потока в условиях аэрофизического или компьютерного моделирования не учитываются или не полностью воспроизводятся, то формулы (1.9)–(1.10) описывают вклад именно вторичных пульсаций, порожденных нестационарными процессами вихреобразования при обтекании фасадов объекта.

Обобщающим является гибридное расчетное соотношение [4, 9]

$$\begin{aligned} w_{(+)}(z, j) &= w_0 \cdot C_{peak(+)}(z, j) (1 + \zeta(z)) \cdot v_{(+)} \gamma \\ w_{(-)}(z, j) &= w_0 \cdot C_{peak(-)}(z, j) (1 + \zeta(z)) \cdot v_{(-)} \gamma \end{aligned} \quad (1.13)$$

В нем учитывается суммарный вклад первичных и вторичных пульсаций, а также коэффициент надежности по ветровой нагрузке $\gamma = 1.4$ [1].

Важно, что в соотношении (1.13) аэродинамические коэффициенты $C_{peak(+)}$ и $C_{peak(-)}$ – это величины, которые можно определять непосредственно по данным измерений в аэродинамической трубе (при этом азимут ветра $0^\circ < \beta < 360^\circ$ должен варьироваться с достаточно мелким шагом). Входящие в выражение (1.8) аэродинамические коэффициенты $c_{p,(+)}$ и $c_{p,(-)}$ определяются через измеренные значения базовых коэффициентов $C_{peak(+)}$ и $C_{peak(-)}$ по формуле

$$c_{p,(+)(-)} = C_{peak(+)(-)}(z, j) \cdot \frac{1 + \zeta(z)}{1 + \zeta(z_e(z))} \cdot \frac{1}{k(z_e(z))} \quad (1.14)$$

в которой функции $z_e(z)$ и $\zeta(z)$ определены соотношениями (1.11) и (1.14), а для коэффициента $k(z)$ известны аналитические выражения [1–9], в частности, согласно ГОСТ Р 56728-2015:

$$\text{тип В: } k(z) = (z / 30.5 \text{ м})^{0.4}$$

Соотношение (1.14) определяет значения аэродинамических коэффициентов $c_{p,+(+)(-)}$ в формуле (1.8) для определения пиковой аэродинамической нагрузки $w_{(+)(-)}$, соответствующей нормативу СП 20.13330.2011/2016.

1.6 Системы координат, схема маркировки корпусов объекта

При обработке и представлении результатов экспериментов и расчетов использовались *географическая* (x, y) и *скоростная* (x_a, y_a) системы координат, рис.1.7. Условный азимут ветра β определяется как угол в горизонтальной плоскости между вектором скорости настиляющего ветра U и направлением с севера на юг, $0^\circ < \beta < 360^\circ$.

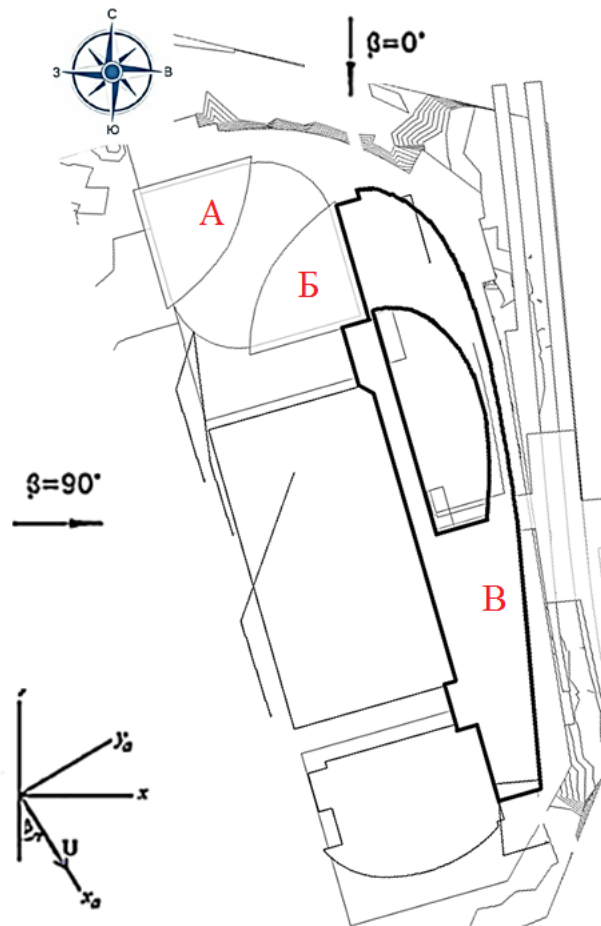


Рис.1.7 Географическая и скоростная системы координат; условный азимут β настиляющего ветра относительно корпусов «А», «Б», «В»

Географическая система координат (x, y) ориентирована по направлениям частей света: ось x – направлена с запада на восток; ось y – с юга на север, рис. 1.7.

Скоростная (поточная) система координат (x_a, y_a) ориентирована так, что в ней ось x_a всегда направлена по вектору скорости настиляющего ветра U , ось y_a – в горизонтальной плоскости перпендикулярно оси x_a (рис.1.7).

2. РЕЗУЛЬТАТЫ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Систематические измерения распределений ветрового давления на фасадах объекта выполнены для типа ветра «В» в диапазоне азимутов β настиляющего ветра в диапазоне $0 < \beta < 360^\circ$ с шагом $\Delta\beta = 5$ градусов (рис.1.7).

Используется форма представления результатов измерений в виде базового аэродинамического коэффициента C_m [2] по формуле (1.6). Благодаря такому представлению нормативное значение средней ветровой нагрузки w_m на ограждающие конструкции натурального объекта находится по формуле $w_m = w_0 C_m$ [2], где w_0 – нормативное значение ветрового давления, зависящее от ветрового района согласно классификатору в [1] (в данном случае $w_0 = 230$ Па).

Массив результатов экспериментального определения зависимости

$$C_m = f(z_i, \beta, j) \quad (2.1)$$

представлен в таблицах приложений Б, В, Г.

Здесь z_i соответствует высотным отметкам экспериментальных контрольных сечений, β – азимут настиляющего ветра, j – номера дренажных точек на открытых поверхностях элементов комплекса.

2.1 Ветровые нагрузки на фасадах и покрытии корпуса «В»

Корпус «В». Расположен в центральной части с восточной стороны комплекса. Высота около $h = 80$ м. Имеет большую протяженность и сложную конфигурацию в плане (рис. 2.1.1). На рис. 2.1.1,а дана схема расположения контрольных точек $j = 1, 2, \dots$ на периметрах горизонтальных сечений фасадов $z = const$ и покрытия корпуса «В» (значения высотных отметок z отсчитываются от уровня земли). Всего на корпусе «В» используются 44 контрольных точки.

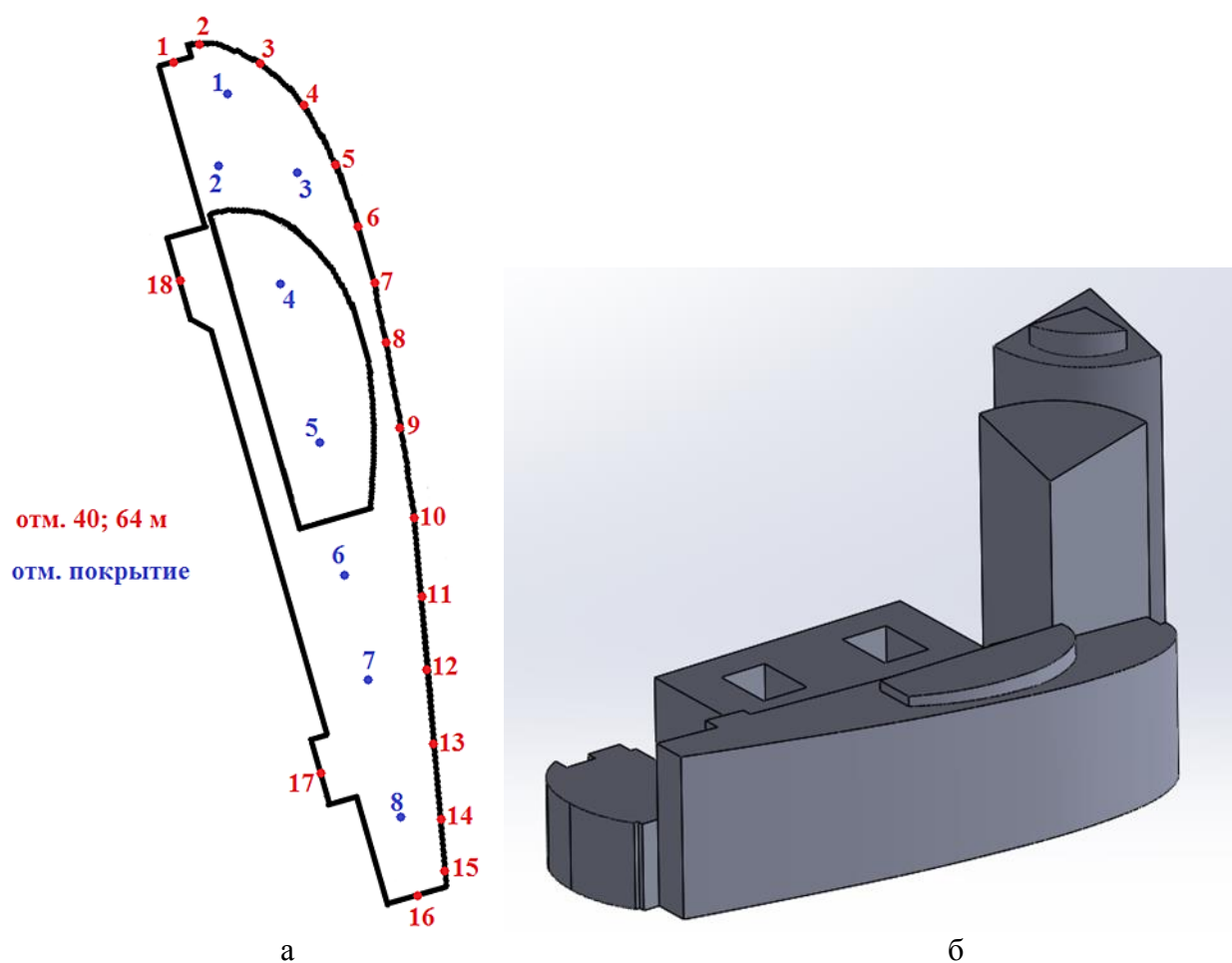


Рис. 2.1.1 Расположение контрольных точек $j = 1 \dots$ на фасадах и покрытии макета корпуса «В» при испытаниях в аэродинамической трубе (а); цифровая 3D модель при математическом моделировании (б)

2.1.1 Распределения *средней* ветровой нагрузки w_m .

На рис. 2.1.2 представлены трехмерные картины распределений базового коэффициента ветровой нагрузки C_m на фасадах корпусов комплекса при последовательном изменении направлений настилающего ветра (на всех рисунках показан вид со стороны настилающего ветра).

На рис. 2.1.3 даны графические отображения табличных зависимостей (2.1) $C_m = f(\beta)$. Умножение значений этого безразмерного коэффициента на постоянную величину $w_0 = 230$ Па даст *нормативное значение* средней ветровой нагрузки w_m , Па. Дополнительное умножение на повышающий коэффициент надежности по ветровой нагрузке $\gamma = 1.4$ даёт *расчетное значение* (в соответствии с терминологией, принятой в СП 20 13330.2011/2016).

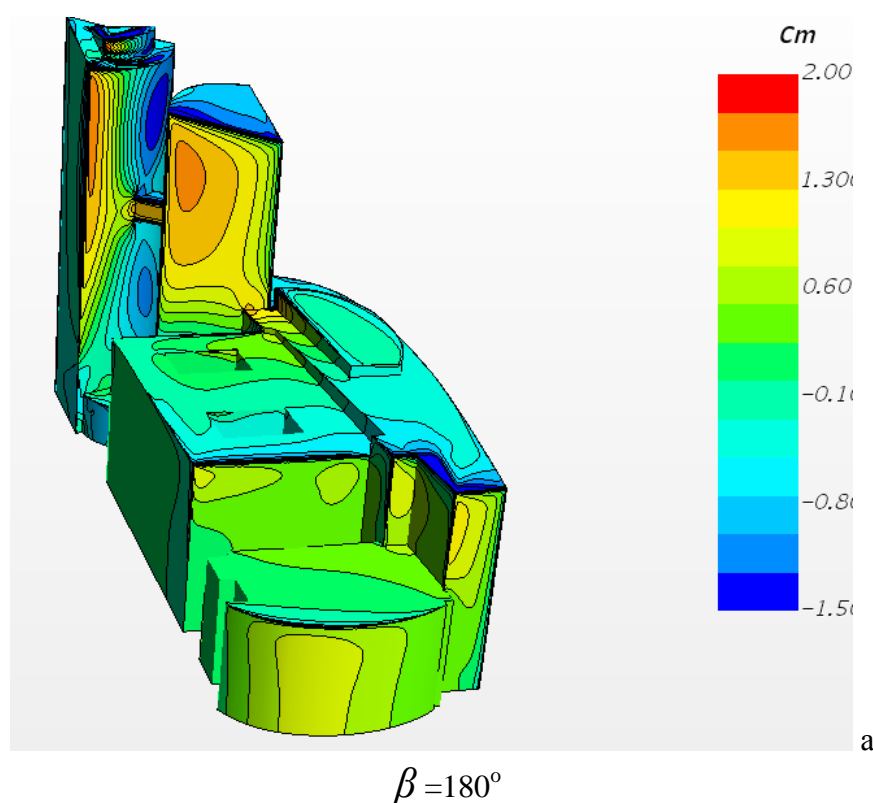


Рис. 2.1.2 (начало) Распределение аэродинамического коэффициента C_m на фасадах корпуса «В»

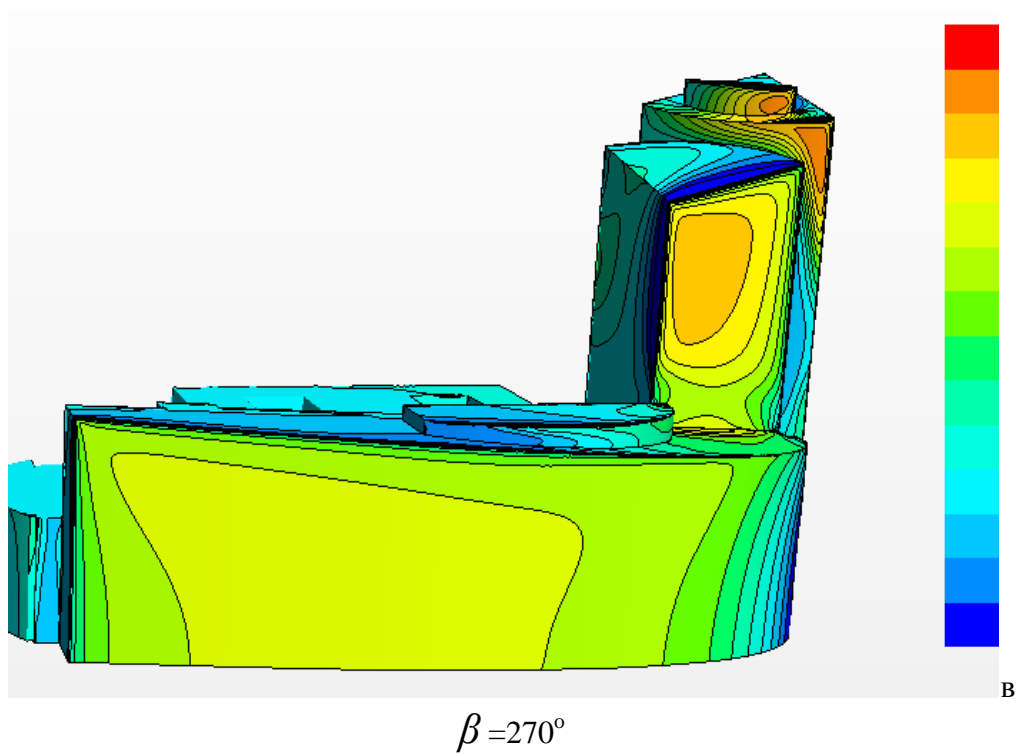
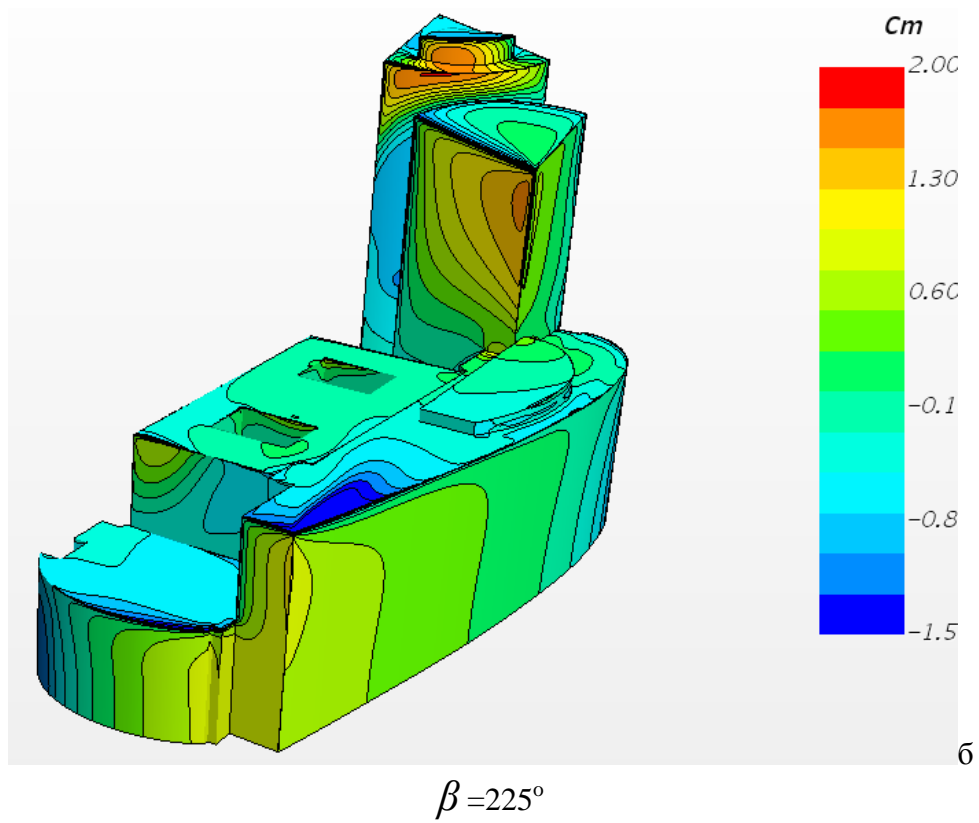


Рис. 2.1.2 (продолжение) Распределение аэродинамического коэффициента C_m на фасадах корпуса «В»

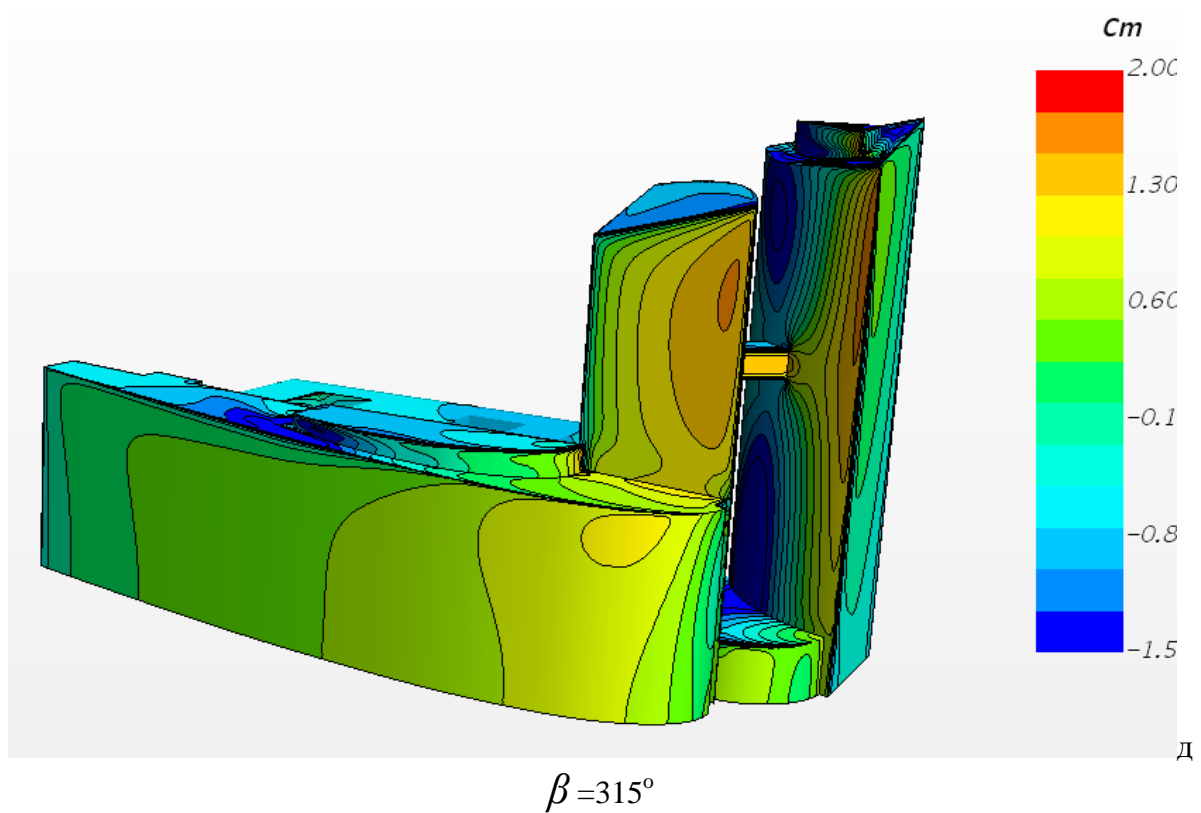
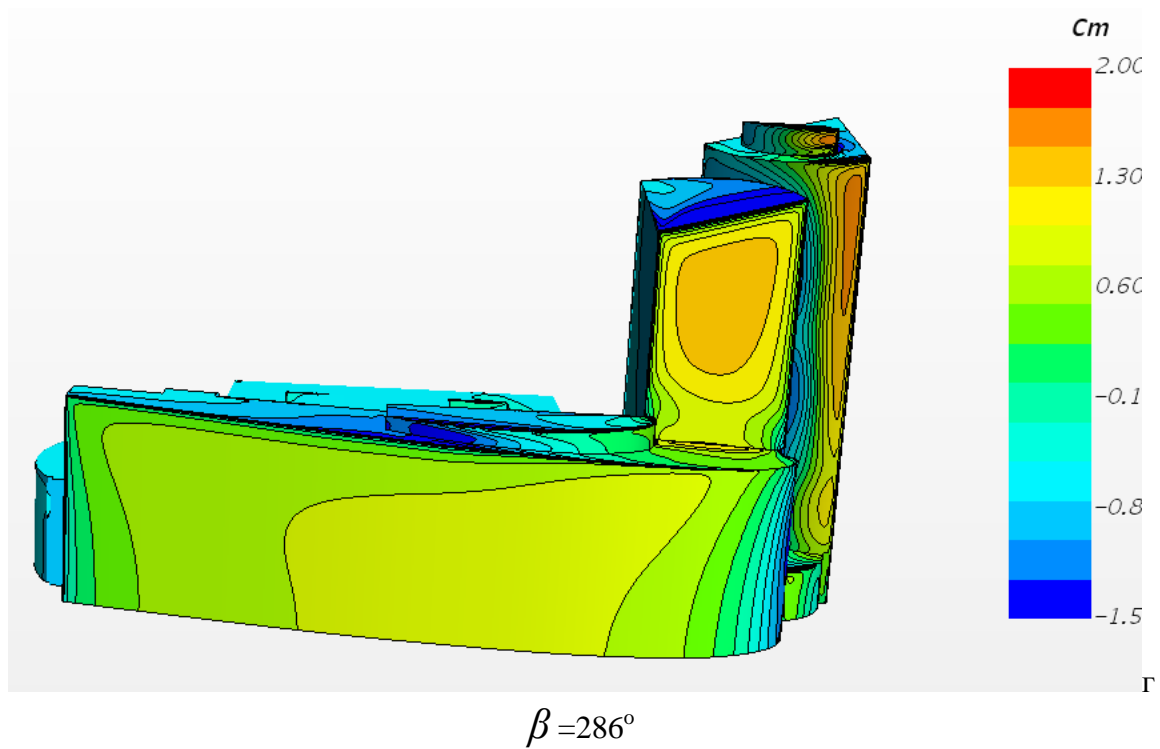


Рис. 2.1.2 Распределение аэродинамического коэффициента C_m на фасадах корпуса «В»

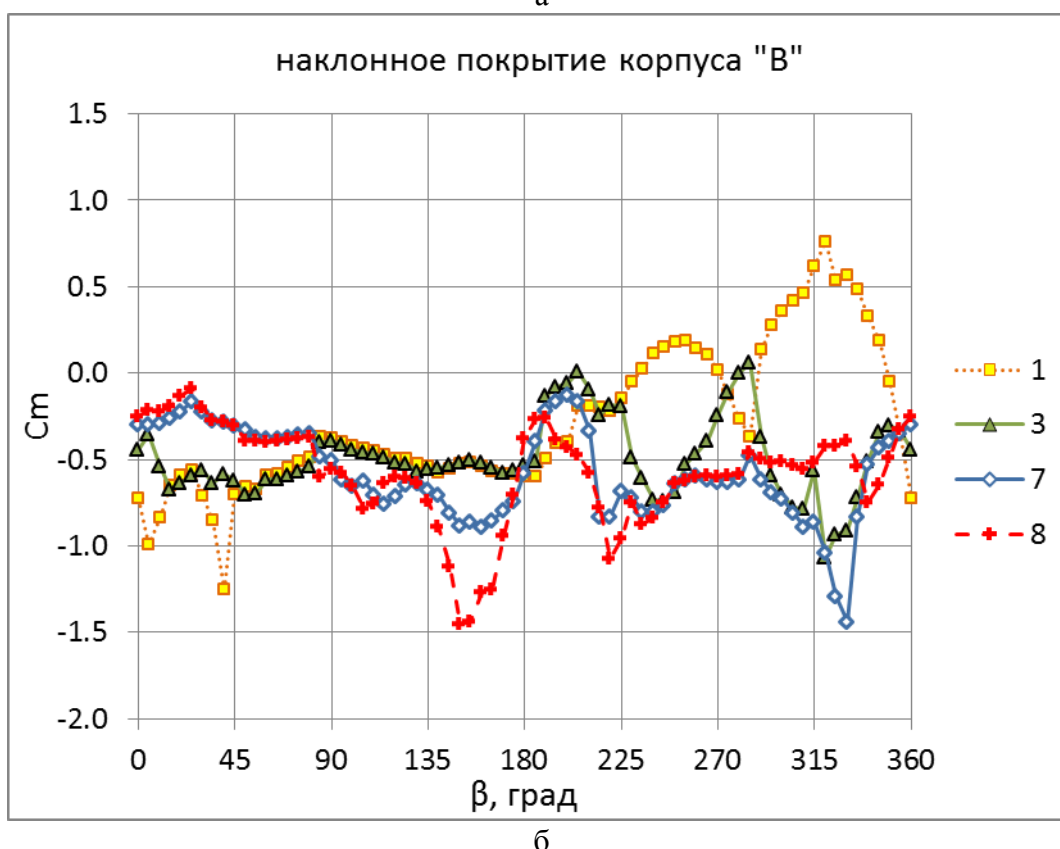
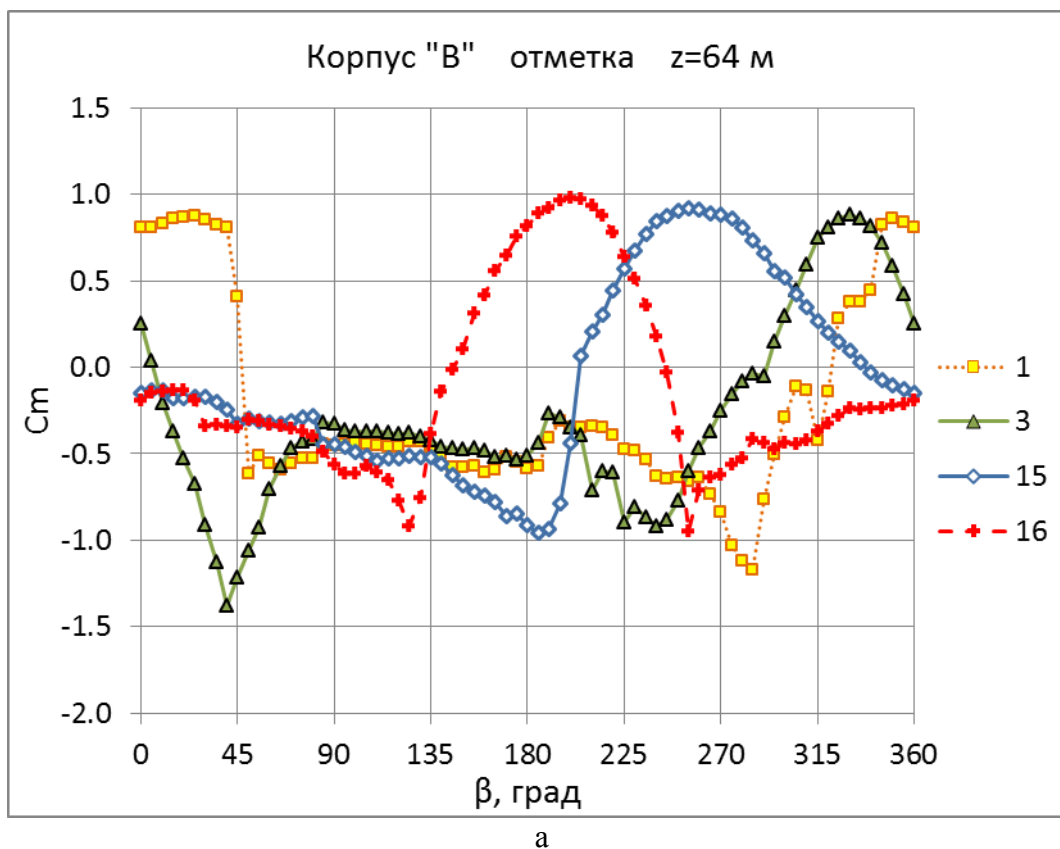


Рис. 2.1.3 Базовый аэродинамический коэффициент C_m на фасадах (а) и в центральной части и покрытия (б) корпуса В

Анализ полученных для корпуса «В» данных показал, что наибольшие значения ветрового отсоса, обычно характерные для угловых зон обычных

фасадов, в данном случае достигаются на гладкой криволинейной поверхности в районе зоны $j=3$ (рис. 2.1.1,а) и это не связано с отрывом потока, а определяется его ускорением при плавном обтекании выпуклой криволинейной поверхности при азимутах настилающего ветра около 45° . При этом в целом на всем их протяжении фасадов корпуса «В» реализуется умеренные ветровые нагрузки характерные для рядовых участков фасадов обычных прямоугольных в плане строений.

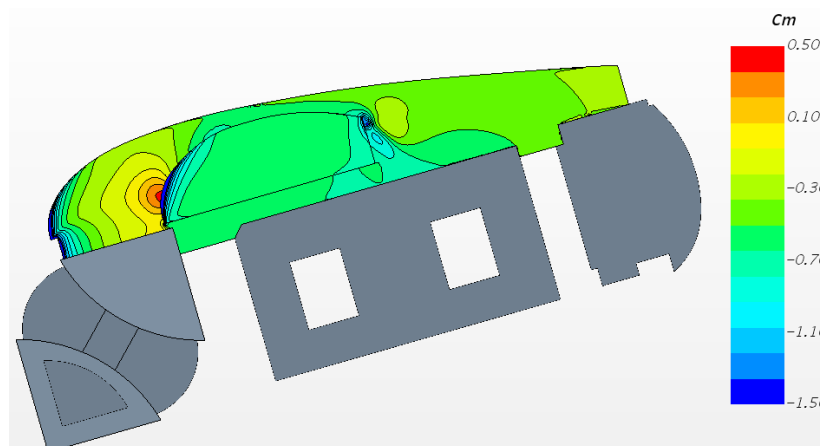


Рис. 2.1.4 Базовый аэродинамический коэффициент C_m на покрытии корпуса В при $\beta = 0^\circ$

2.1.2 Расчетные значения пиковой ветровой нагрузки $w_{(+)}$, $w_{(-)}$.

Методика определения пиковых значений ветровой нагрузки представлена в разделе 1.5. В эксперименте регистрировались большие выборки (до 10 тыс. отсчетов) нестационарных показаний датчиков ветрового давления Δp_j , по ним находилась средняя составляющая $\overline{\Delta p_j}$, а также среднеквадратичное отклонение в дренажных точках $j = 1, 2, \dots$. При надлежащей нормировке этих величин (на характерный скоростной напор $[q(z_0)]_T$) получаем натурный базовый аэродинамический коэффициент C_m и среднеквадратичное отклонение $\sigma = \sigma(z, \beta, j)$ для подстановки в формулы (1.10) - (1.14). Пиковые величины *расчетной* ветровой нагрузки $w_{(+)(-)}$ на ограждающие конструкции башен исследуемого комплекса были определены каждым из указанных в методике раздела 1.5 способов и по ним отбирались наиболее неблагоприятные (экстремальные) значения.

На рис. 2.1.4,б римскими цифрами обозначены 17 условных зон на открытых фасадах корпуса «В». Там же показаны 8 характерных зон на покрытии.

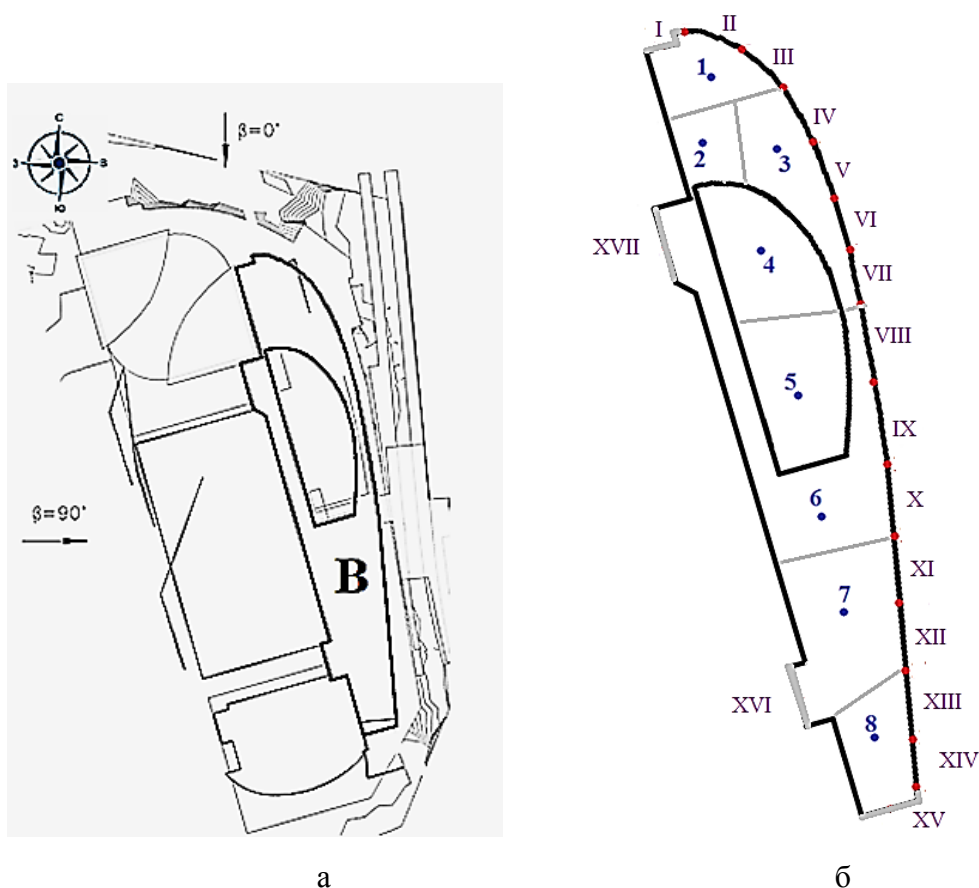


Рис. 2.1.4 Корпус «В» в составе объекта (а);
схема разбиения открытых фасадов и покрытия корпуса «В» на зоны

Итоговые результаты представлены в таблицах 2.1.1 – 2.1.3 (в них уже учтен повышающий коэффициент надежности по ветровой нагрузке $\gamma = 1.4$).

Таблица 2.1.1

Расчетная пиковая положительная нагрузка $w_{(+)}$ на фасадах корпуса «В», кПа

Номер зоны (рис.2.1.4)	Диапазон высот z , м		
	меньше 40	40 – 65	больше 65
I	0.58	0.65	0.71
II	0.53	0.51	0.49
III	0.55	0.52	0.50
IV	0.52	0.51	0.51
V	0.50	0.50	0.50
VI	0.49	0.48	0.48
VII	0.51	0.50	0.48
VIII	0.52	0.49	0.47

IX	0.50	0.51	0.53
X	0.47	0.53	0.59
XI	0.47	0.53	0.59
XII	0.53	0.59	0.65
XIII	0.54	0.61	0.69
XIV	0.51	0.60	0.68
XV	0.58	0.58	0.58
XVI	0.60	0.50	0.40
XVII	0.48	0.47	0.45

Таблица 2.1.2

Расчетная пиковая отрицательная нагрузка $w_{(-)}$, на фасадах корпуса «В», кПа

Номер зоны (рис.2.1.4)	Диапазон высот z, м		
	меньше 40	40 –65	больше 65
I	-0.80	-0.88	-0.95
II	-0.92	-0.89	-0.86
III	-0.97	-0.98	-0.88
IV	-0.89	-0.93	-0.97
V	-0.64	-0.81	-0.98
VI	-0.53	-0.71	-0.90
VII	-0.56	-0.69	-0.83
VIII	-0.59	-0.65	-0.70
IX	-0.62	-0.67	-0.73
X	-0.63	-0.68	-0.74
XI	-0.66	-0.67	-0.67
XII	-0.72	-0.71	-0.70
XIII	-0.77	-0.75	-0.74
XIV	-0.76	-0.76	-0.76
XV	-0.90	-0.99	-1.04
XVI	-0.50	-0.54	-0.57
XVII	-0.63	-0.59	-0.55

Таблица 2.1.3

Расчетная пиковая нагрузка на покрытия корпуса «В», кПа

Номер зоны (рис.2.1.4)	$w_{(+)}$	$w_{(-)}$
1	0.58	-0.84
2	0.53	-0.7
3	0.33	-0.71
4	0.26	-0.62
5	0.09	-0.79
6	0.01	-0.92
7	0.11	-1.07
8	0.10	-1.25

2.2 Ветровые нагрузки на покрытия входной группы

Входная группа представляет собой нижний элемент межбашенного пространства между корпусами «А» и «Б» (рис.2.2.1–рис.2.2.2). Первоначально ее высота проектировалась на уровне 3-х этажей. Затем, в связи с изменением архитектурно-планировочных решений межбашенного пространства, высота возросла до 8 этажей. В данном разделе представлены результаты определения статических и пиковых ветровых воздействий, необходимых для расчета металлического каркаса и ограждающих систем модифицированной входной группы.

На рис. 2.2.2. дана схема расположения контрольных точек $j = 1, 2, \dots$ на поверхностях входной группы.

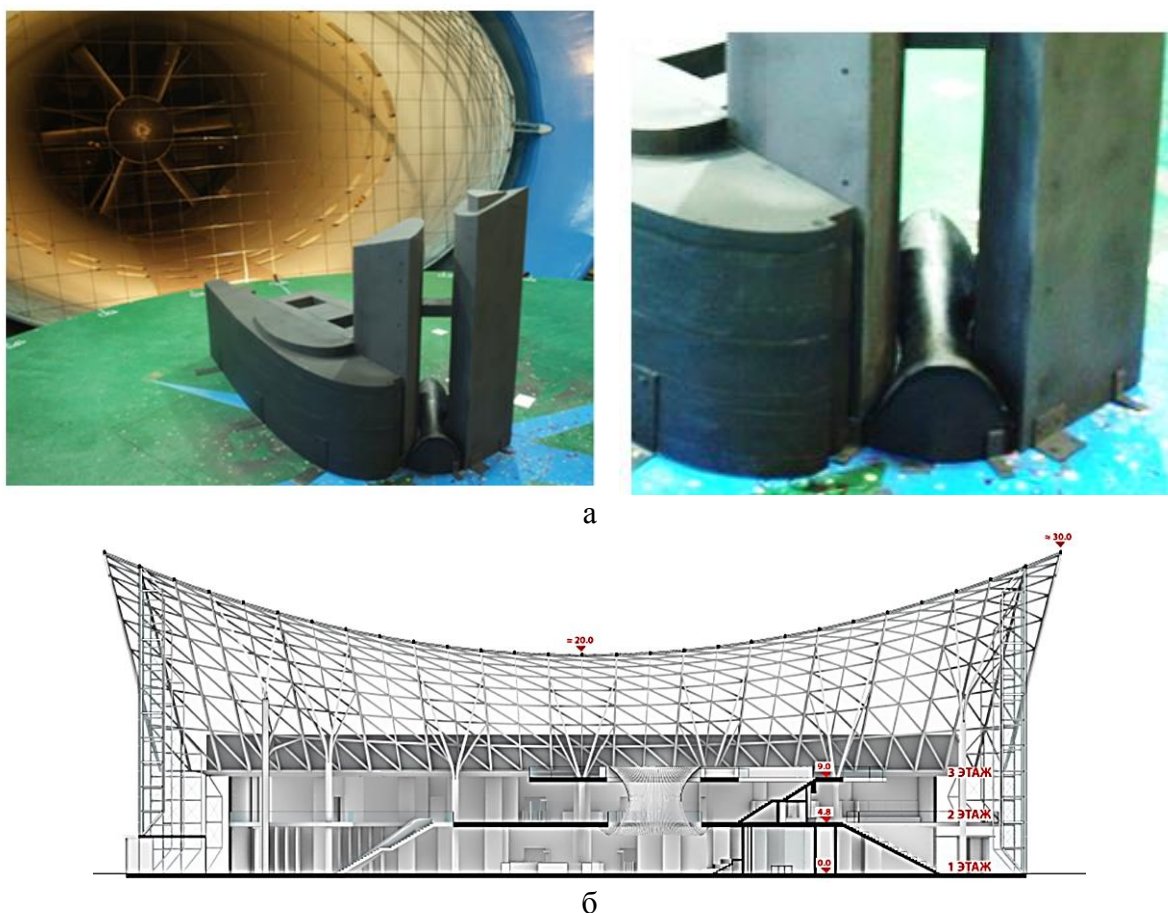


Рис. 2.2.1 Входная группа:

а – макет комплекса в аэродинамической трубе (вид по направлению потока);
б – 3D модель входной группы, использованная при численном моделировании

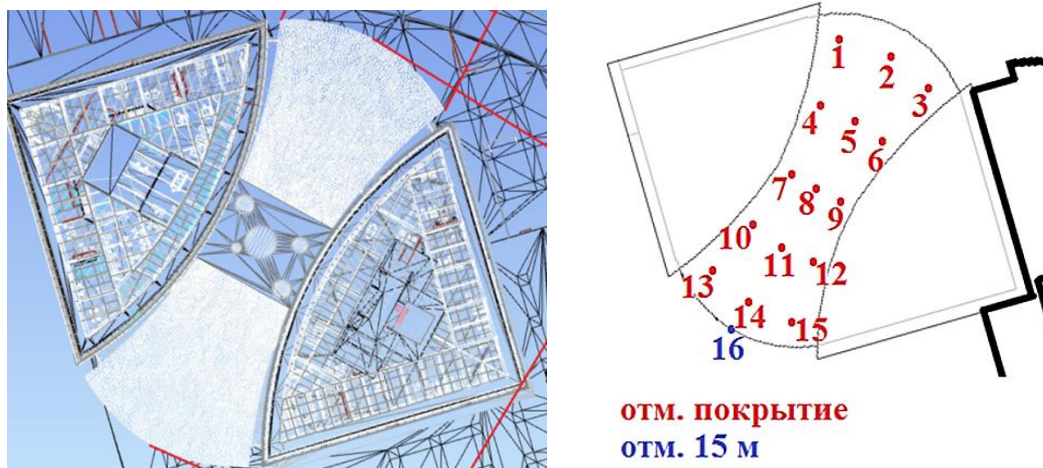


Рис. 2.2.2 Входная группа:
расположение контрольных точек $j = 1 \dots, 15$ на покрытии
и дополнительной точки $j=16$ – на вертикальном фасаде

2.2.1 Распределения *средней* ветровой нагрузки w_m .

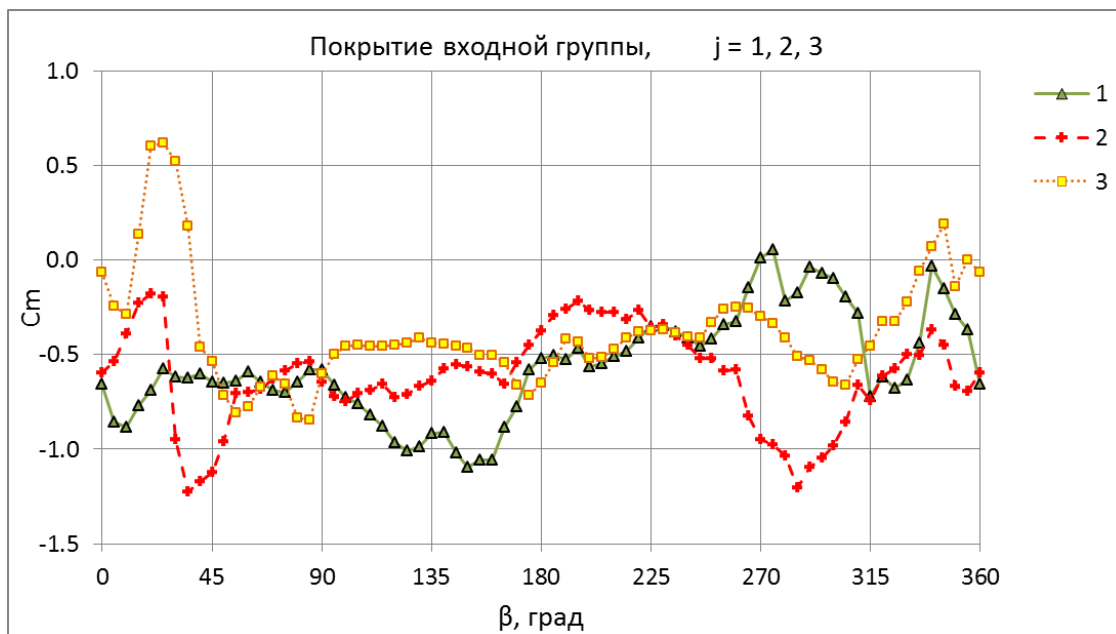
В Приложении В приведены таблицы значений базового аэродинамического коэффициента согласно ГОСТ Р 56728-2015

$$C_m = w_m / w_0$$

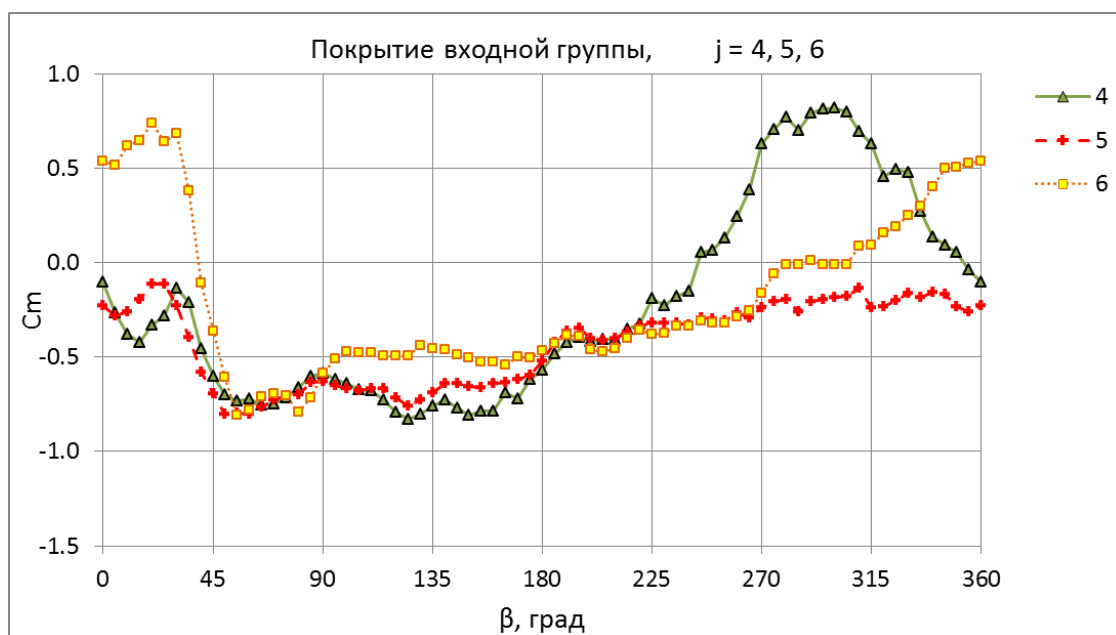
w_m – нормативные (в смысле СП 20.13330) значения ветровой нагрузки;
 $w_0 = 230$ Па для первого ветрового района, в котором расположена Москва.

В колонках таблиц даются значения C_m в характерных контрольных точках $j = 1, 2 \dots$ (см. рис. 2.2.2) при изменении азимута β настилающего ветра от 0° до 360° с шагом 5° (рис. 2.1.4,а).

На рис.2.2.3 даны графические отображения табличных зависимостей $C_m = f(\beta)$. Умножение значений этого безразмерного коэффициента на постоянную величину $w_0 = 230$ Па даст *нормативное значение* средней ветровой нагрузки w_m , Па. Дополнительное умножение на повышающий коэффициент надежности по ветровой нагрузке $\gamma = 1.4$ даёт *расчетное значение* (в соответствии с терминологией, принятой в СП 20.13330.2011/2016).



а



б

Рис. 2.2.3 (начало) Базовый аэродинамический коэффициент C_m на покрытия входной группы между корпусами А, Б

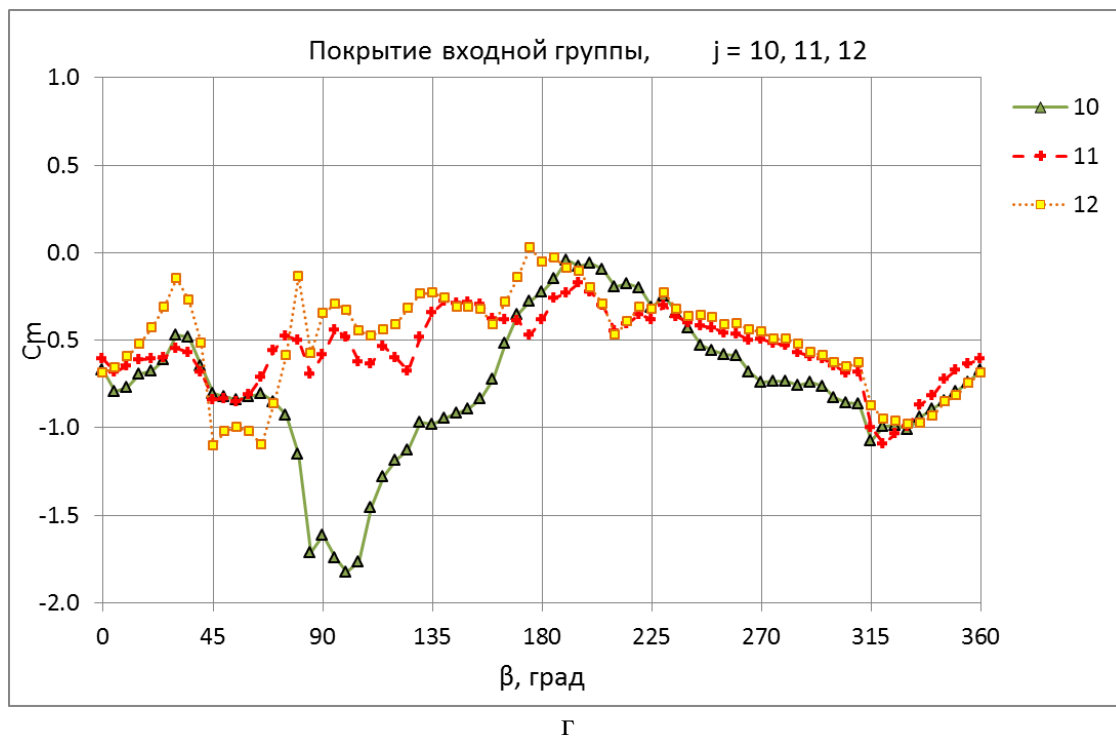
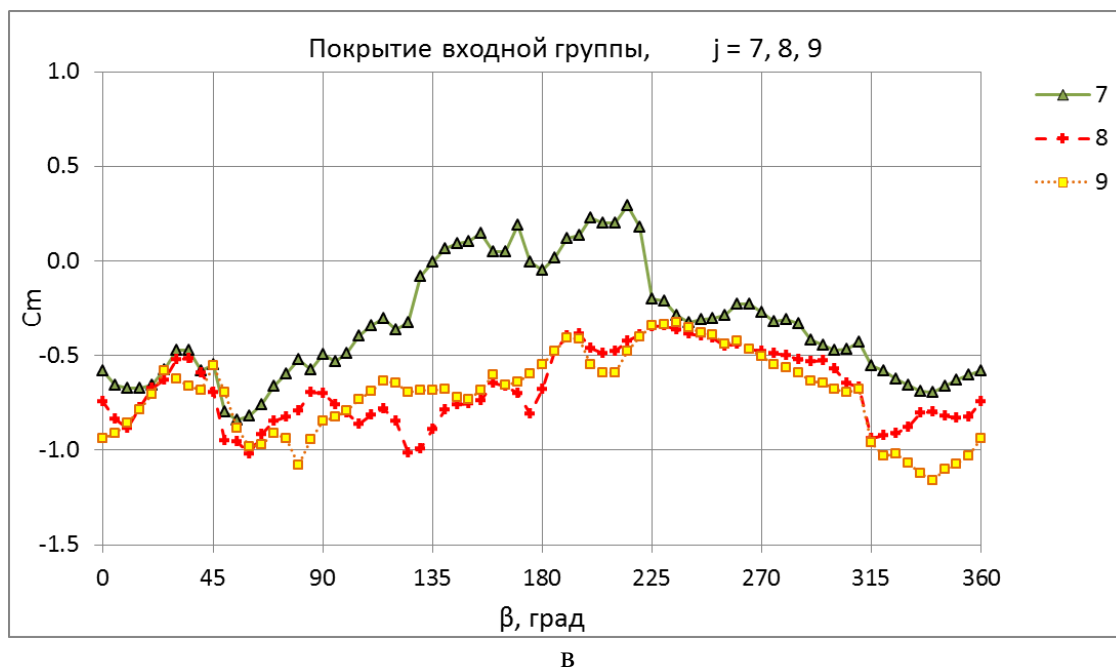


Рис. 2.2.3 (продолжение) Базовый аэродинамический коэффициент C_m на покрытии входной группы между корпусами А, Б

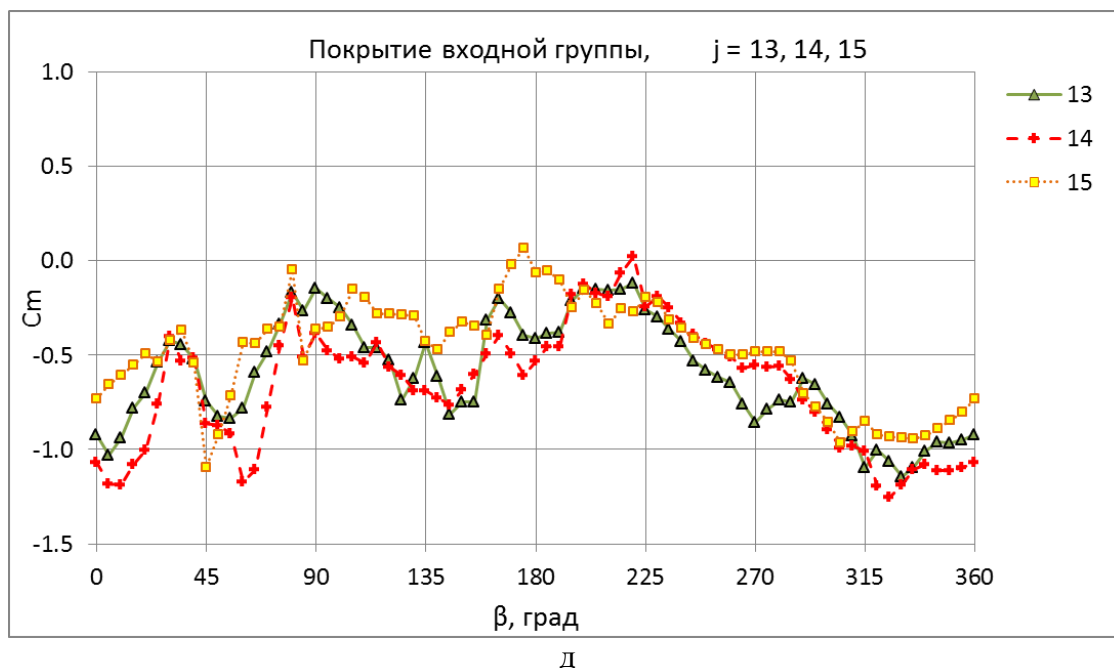


Рис. 2.2.3 Базовый аэродинамический коэффициент C_m на покрытии входной группы

2.2.2 Расчетные значения *пиковой* ветровой нагрузки $w_{(+)}$, $w_{(-)}$ на покрытии входной группы. Определение пиковых значений выполнено по методике, изложенной в разделе 1.5. Итоговый результат⁸ представлен в таблице 2.2.1.

Таблица 2.2.1

Расчетная пиковая нагрузка на покрытии входной группы, кПа

Номер зоны (рис.2.2.2)	$w_{(+)}$	$w_{(-)}$
1	0.44	-1.12
2	0.38	-1.04
3	0.49	-0.7
4	0.43	-0.84
5	0.37	-0.79
6	0.5	-0.66
7	0.34	-0.86
8	0.32	-1.09
9	0.28	-0.82
10	0.45	-1.26
11	0.35	-1.21
12	0.33	-0.85
13	0.42	-1.39
14	0.37	-1.24
15	0.52	-1.32

⁸ Учен повышающий коэффициент надежности по ветровой нагрузке $\gamma = 1.4$).

2.3 Характеристики снегопереноса и снегоотложений на покрытии корпуса «В» и входной группы между башнями «А», «Б»

2.3.1 Снеговые осадки могут приводить к появлению на горизонтальных и наклонных поверхностях покрытий зданий и сооружений снеговых отложений, создающих дополнительную нагрузку на несущие элементы. Величина нагрузки зависит от многих факторов, таких как толщина снежного покрова, плотность, влажность и т.д. Многолетние метеорологические наблюдения позволяют выявлять расчетные характеристики снегового покрова на поверхности земли в зависимости от местоположения зданий и сооружений в соответствии с классификатором в стандарте СП 20.13330.2011/2016.

Формирование снежного покрова на покрытиях и поверхностях зданий и сооружений осложнено рядом дополнительных факторов, таких как перенос снега ветровым потоком с одной части поверхности покрытия здания на другую, скатывание снега с наклонных поверхностей на горизонтальные, изменение контура поверхности за счет снежного покрова, приводящее к изменению локальных ветровых потоков и к дальнейшему перераспределению снеговых отложений, влияние соседних, сопоставимых по масштабу сооружений на формирование ветровых потоков вокруг исследуемого сооружения.

Схемы снеговых отложений на покрытиях различных простейших форм представлены в приложении Г в СП. 20.13330.2011 (аналогичные данные присутствуют и в нормативных документах других стран), однако эти данные носят ограниченный характер и зачастую не учитывают дополнительные факторы, описанные выше. Подход, позволяющий оценивать расчетное значение снеговой нагрузки на поверхностях зданий и сооружений, использует годичный максимум S_0 веса снегового покрова на 1 м^2 на горизонтальной площадке, защищенной от ветрового воздействия.

Снеговая нагрузка на поверхностях Σ покрытия зданий и сооружений может быть вычислена по формуле:

$$S = S_0 \mu(x, y, z) \quad (2.2)$$

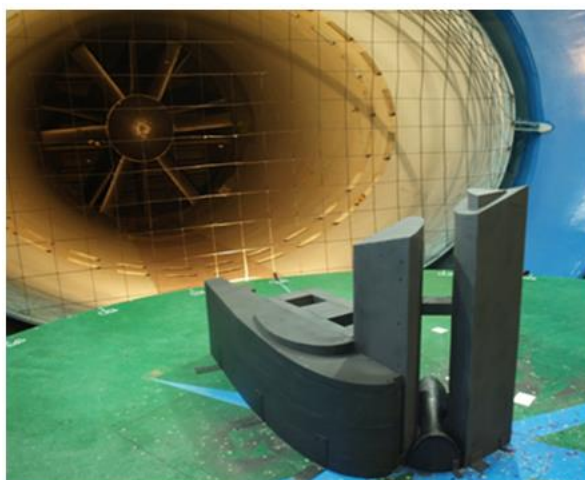
где μ – коэффициент перехода от снегового покрова на поверхности земли к снеговой нагрузке на поверхностях Σ покрытий зданий и сооружений.

Одним из способов определения коэффициента μ является физическое моделирование в аэродинамической трубе с использованием имитаторов снега в виде специально подобранных дисперсных составов (на основе древесных опилок). Результатом такого моделирования является карта поверхностей и покрытий, состоящая из участков с постоянным значением коэффициента μ . Этот способ был применен в настоящей работе.

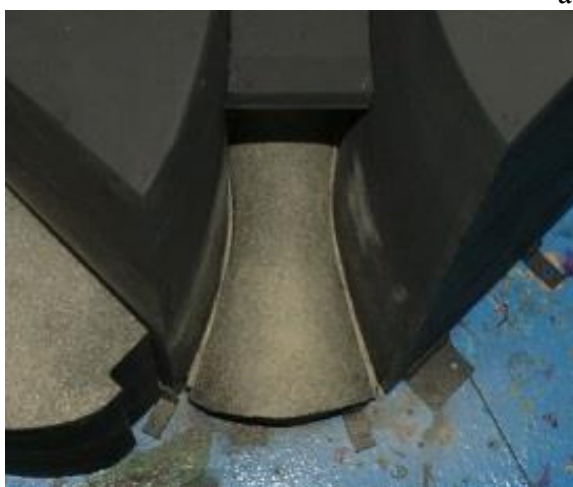
2.3.2 Исследование снегопереноса и снегоотложений на покрытии макета входной группы между корпусами «А»–«Б» и также на покрытии корпуса «В» проведено при азимутах ветрового потока: $\beta = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ$ и 315° (см. рис.1.7).

На рис. 2.3.1 представлена картина начального равномерного распределения имитатора снеговых отложений на покрытиях макета комплекса до проведения экспериментов (т.е. – без ветрового потока).

В Приложении Г на рис. Г1 – рис. Г8 приведены фотоснимки результатов регистрации снегоотложений на покрытии входной группы между корпусами «А», «Б» и на покрытии корпуса «В» в результате динамического процесса снегоуноса и снегопереноса под действием ветра. Эти данные отражают конечное стационарное состояние в виде локальных снеговых отложений на покрытии указанных элементов комплекса. По ним получены оценки значений коэффициента μ на покрытиях, в зависимости от азимута ветрового потока (конкретные значения параметра μ указаны в подрисуночных подписях к фотоснимкам в Приложении Г).



а



б



в



г

Рис. 2.3.1 Макет комплекса в аэродинамической трубе (а);
 виды начального распределения имитатора снега на покрытии:
 – входной группы (б,в) и – корпуса «В» (г) при отсутствии ветра $V=0$ м/с

На основании полученных экспериментальных распределений снегоотложений выработаны рекомендации по назначению коэффициента перехода μ согласно стандарту СП. 20.13330.2011/2016 (они представлены в Приложении Г в наглядной графической форме).

2.3.3 Выводы по разделу 2.3. Выполнено физическое моделирование снеготранспорта и снеготложений на покрытии входной группы между корпусами «А» и «Б», а также на покрытии корпуса «В» для восьми азимутов настилающего ветра. В целом на исследованных поверхностях не выявлено значительных зон активного осадения снеговых масс переносимых из других участков (снеговых мешков со значениями $\mu \geq 2$). Исключение составляют пристенные зоны входной группы шириной около 1 м вдоль стен корпусов «А», «Б», а также пристенные зоны надстройки на покрытии корпуса «В» шириной около 1 м (в этих зонах, с некоторым запасом, рекомендуется принимать $\mu=4$). На остальных поверхностях происходит либо полный снегоунос ($\mu=0$), либо возникает тонкий снеговой покров, не увеличивающийся за счет снеготранспорта из других областей покрытий ($\mu < 1.25$) при всех направлениях ветрового потока.

2.4 О влиянии мезонина на покрытии башни «А» и мостового перехода между башнями «А», «Б»

В настоящей модификации корпус «А» содержит дополнительную надстройку в виде мезонина, установленного в срединной части покрытия (рис. 2.4.1), а также мостовой переход в виде перемычки между башнями «А», «Б» на высоте около $z = 105$ м (рис. 2.4.1–2.4.2). В связи с этим потребовалось провести оценки влияния указанных дополнительных элементов на статические и пиковые ветровые нагрузки в верхней части фасадов башен «А» и «Б».



Рис. 2.4.1 Мезонин на покрытии башни «А» и мостовой переход между башнями:
а- макет в аэродинамической трубе; б — цифровая 3D модель

Максимальная статическая ветровая нагрузка на перемычку между башнями достигается при ветрах северного направления. Соответствующий аэродинамический коэффициент c (в терминологии [1]) для мостового перехода (рис. 2.4.2):

$c=0.75$ – для подветренной стороны;

$c=-0.56$ – для подветренной стороны

В таблице 2.4.1 приведены расчетные значения пиковой ветровой нагрузки на ограждения мостового перехода (схема маркировки его сторон показана на рис. 2.4.2).

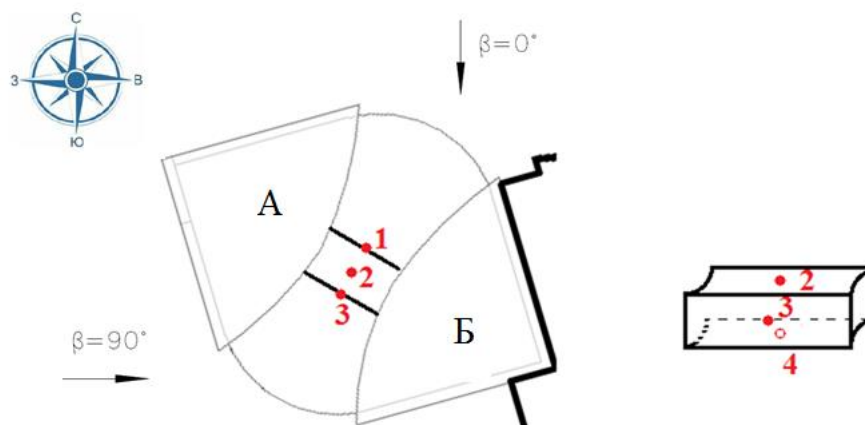


Рис. 2.4.2 Схема маркировки сторон мостового перехода

Таблица 2.4.1

Расчетная пиковая нагрузка на ограждения мостового перехода, кПа

Номер зоны (рис.2.4.2)	$w_{(+)}$	$w_{(-)}$
1	0.71	-1.04
2	0.58	-0.97
3	0.7	-0.86
4	0.33	-1.16

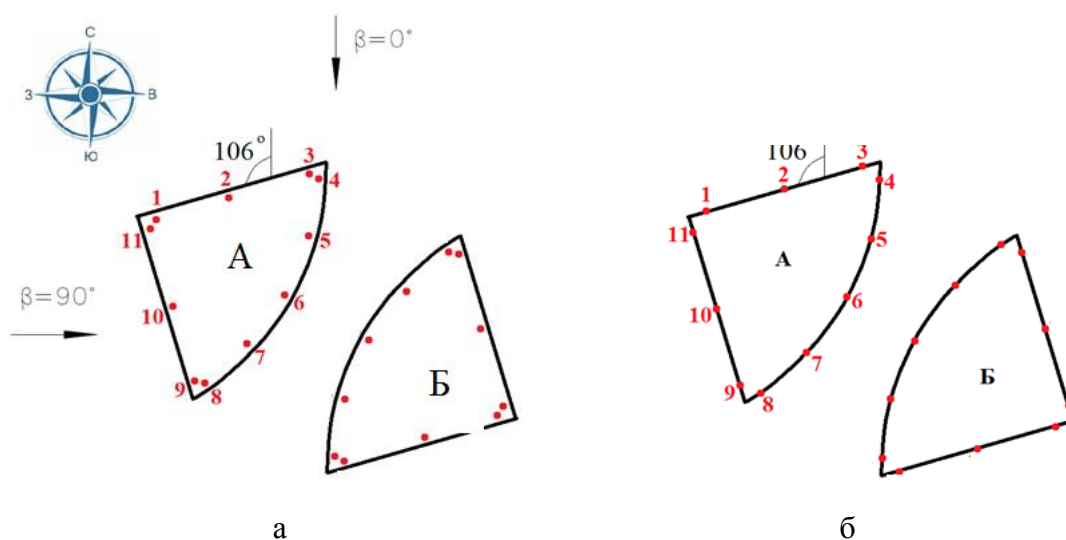


Рис. 2.4.3 Схема контрольных точек (зон) на покрытии (а) и фасадах (б) башни «А»

В таблицах 2.4.2-2.4.4 даны сравнения распределений максимальных и минимальных (по всем азимутам $0^\circ < \beta < 360^\circ$) значений C_m на отметках $z=105$ м, $z=165$ м фасадов и на покрытии башни «А» для первоначального (*old*) и модифицированного (*new*) вариантов конструкции (т.е. – при отсутствии или с учетом дополнительных элементов – мезонина и мостового перехода).

Таблица 2.4.2Значения пиковых значений C_m на отметке $z=105$ м для башни «А»

Номер зоны (рис.2.4.3,б)	<i>old</i>		<i>new</i>	
<i>j</i>	min	max	min	max
1	-1.34	1.28	-1.36	1.32
2	-1.28	1.32	-1.33	1.31
3	-1.50	1.27	-1.52	1.27
4	-2.64	1.26	-1.33	1.22
5	-2.48	-0.66	-1.94	0.55
6	-3.50	-0.67		
7	-2.35	-0.62	-2.03	0.60
8	-2.56	1.26	-1.31	1.09
9	-1.41	1.23	-1.49	1.14
10	-1.54	1.32	-1.37	1.29
11	-1.53	1.29	-1.51	1.29

Таблица 2.4.3Значения пиковых значений C_m на отметке $z=165$ м для башни «А»

Номер зоны (рис.2.4.3,б)	<i>old</i>		<i>new</i>	
<i>j</i>	min	max	min	max
1	-1.60	1.64	-1.65	1.68
2	-1.32	1.62	-1.33	1.60
3	-1.93	1.58	-1.72	1.51
4	-3.95	1.63	-1.98	1.46
5	-2.54	0.19	-1.66	0.42
6	-2.36	-0.33	-1.56	0.17
7	-2.31	0.29	-1.55	0.84
8	-3.48	1.61	-1.92	1.59
9	-1.82	1.54	-1.83	1.45
10	-1.51	1.56	-1.35	1.56
11	-1.70	1.63	-1.59	1.64

Таблица 2.4.4Значения пиковых значений C_m на покрытии башни «А»

Номер зоны (рис.2.4.3,а)	<i>old</i>		<i>new</i>	
<i>j</i>	min	max	min	max
1	-1.52	-0.37	-1.41	-0.38
2	-2.49	-0.31	-1.85	-0.44
3	-5.05	-0.26	-2.75	-0.26
4	-4.75	-0.13	-4.11	-0.01
5	-2.10	0.57	-1.68	1.23
6	-1.91	0.65	-1.56	1.44
7	-2.10	0.50	-1.76	1.22
8	-5.30	-0.12	-4.19	0.00
9	-4.21	-0.12	-1.01	0.30
10	-2.23	-0.16	-1.66	0.00
11	-1.56	-0.47	-1.40	0.00

Анализ этих данных показывает, что новые элементы (мостовой переход и мезонин) не приводят к увеличению ветровых нагрузок. Более того, в зонах влияния этих элементов наблюдается сглаживание экстремальных нагрузок. На этом основании, а также с учетом расчетных распределений ветровой нагрузки на всех фасадах комплекса (рис. 2.1.2) можно сделать вывод, что оснащение башен «А», «Б» дополнительными элементами (мезонином и мостовым переходом) не приводит к увеличению ветровых нагрузок на фасады и покрытие указанных корпусов.

2.5 Оценки уровней относительной ветровой комфортности пешеходных зон

Вопрос определения комфортности пешеходных зон не имеет устоявшейся однозначной трактовки ни в нормативных источниках, ни в технической литературе. Согласно МГСН 4.19-05 различают три уровня комфортности по критерию

$$T_c(V_{cr}) < T_{lim} \quad (2.3)$$

где T_{lim} – предельно допустимое суммарное время за год, в течение которого скорость ветра V на высоте 1.5 м превышает критическое значение V_{cr} для каждого уровня комфортности I–II–III, табл. 2.5.1.

Таблица 2.5.1 – Уровни комфортности

Уровень	I	II	III
$V_{cr}[м/с]$	6	12	20
$T_{lim}, [ч/год]$	1000	50	5

Чтобы применять критерий (3.1) на практике, необходимо иметь статистическую функцию распределения $T_c(V)$ суммарной продолжительности за годовой период ветровых порывов, имеющих большую скорость, чем V на высоте $z=1.5$ м над строительной площадкой, причем такая статистика необходима для всех основных азимутов ветра. Для этого требуются данные многолетних метеонаблюдений, представленные в виде розы ветров по направлению и повторяемости распределения полей ветра в окрестности строительной площадки. Изложенные в [16, 18, 19] теоретические методики расчета уровней комфортности по критерию (3.1) затруднительно применять на практике, поскольку в них используются статистические гипотезы, имеющие неопределенное отношение к результатам аэрофизического и компьютерного моделирования. В этих методиках содержатся параметры, которые требуется, но не ясно как, определять экспериментально. Например, рекомендуется определять

«плотность распределения функции порывистости» «на основе результатов модельных испытаний площадки строительства в специализированных аэродинамических трубах» [17].

На практике обычно ограничиваются выявлением зон повышенной и пониженной скорости воздушного потока в окрестности строительного сооружения по сравнению со скоростью настилающего ветра на высоте, соответствующей уровню $z = 1.5$ м (для натуральных масштабов) при отсутствии застройки. Это дает возможность судить о расположении зон относительной комфортности/некомфортности [21]. Обозначим

$$Q(x, y) = |\mathbf{V}|/U \big|_{z=1.5\text{ м}} \quad (2.4)$$

Безразмерный параметр Q характеризует степень отклонения местной скорости ветра на территории застройки от скорости настилающего ветра на высоте $z = 1.5$ м. Если на строительной площадке нет зданий, то, очевидно, $Q = 1$ при любом направлении и скорости ветра. После возведения зданий, распределение Q будет неоднородным, зависящим от направления настилающего ветра и расположения точки наблюдения относительно блоков комплекса. В зонах, где $Q < 1$, местная скорость воздушных масс меньше скорости настилающего ветра, а там, где $Q > 1$, – превышает эту скорость.

Распределение $Q(x, y)$ по территории застройки можно определять по результатам виртуальных (компьютерных) экспериментов. Зоны, в которых этот критерий неравномерности $Q(x, y)$ оказывается значительно большим единицы, можно охарактеризовать как зоны относительной некомфортности. В этих зонах скорость ветра существенно превышает фоновую.

На рис. 2.5.2,а – рис. 2.5.9,а построены диаграммы распределения параметра Q на территории исследуемого объекта, с учетом влияния элементов окружающей ближней застройки при различных направлениях настилающего ветра при $\beta = 0, 90, 106, 180, 225, 270, 286, 315$ градусов, рис. 2.5.1. При этом дополнительную полезную информацию, характеризующую ветровую комфортность территории, дает также расчетное

поле направлений ветровых потоков, позволяющее выявлять проточные и застойные зоны (представлены там же на рис. 2.5.2,б – рис. 2.5.9,б).

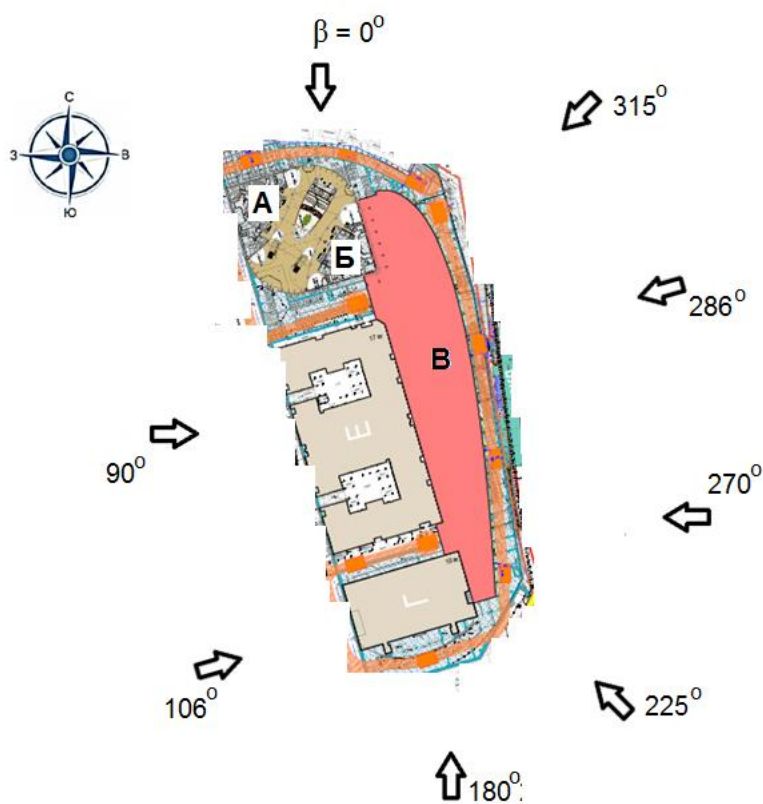
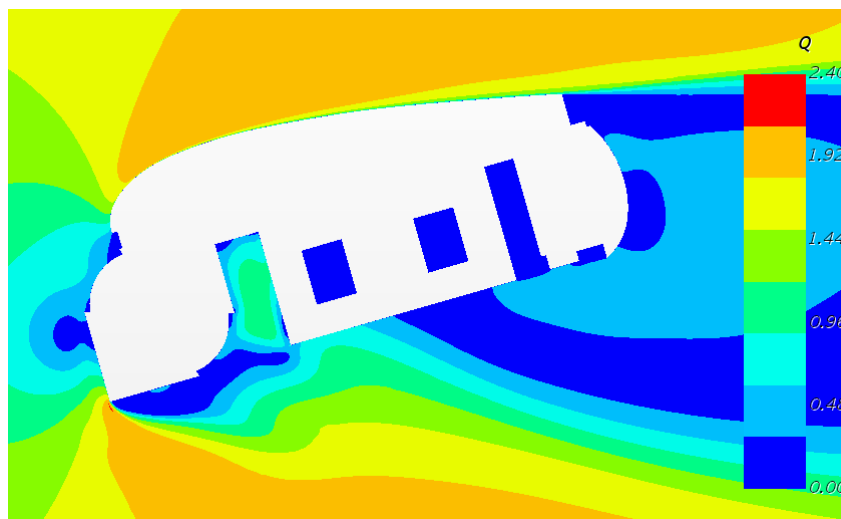
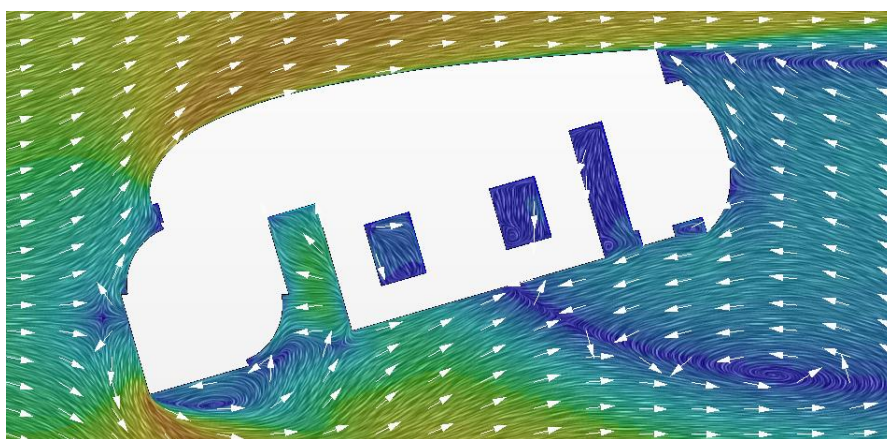


Рис. 2.5.1 Направления ветра при расчетах поля вектора скорости и критерия Q на территории объекта

П р и м е ч а н и е – На всех картинах визуализации Рис. 2.5.2 – Рис. 2.5.9 направление настилающего ветра принято слева направо. Соответственно, положение корпусов комплекса последовательно поворачивается почасовой стрелке на соответствующий угол приращения β (рис. 2.5.1).

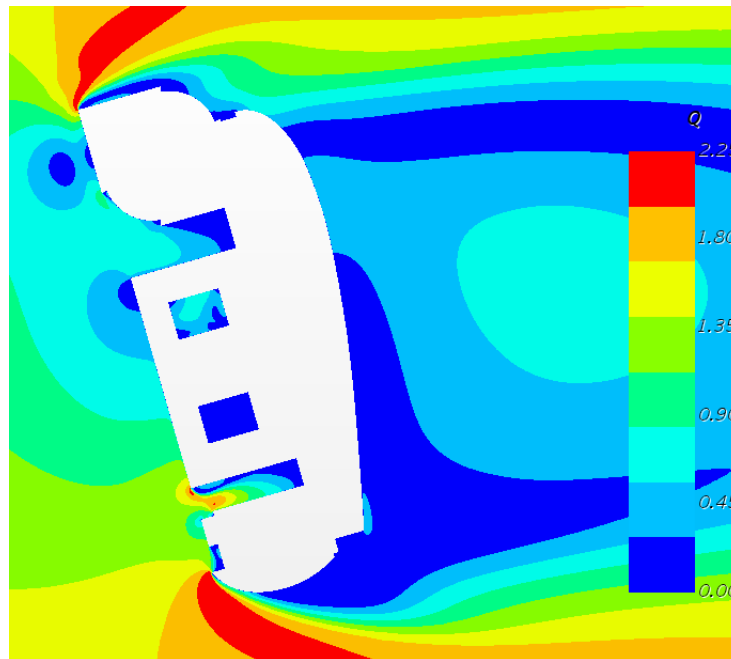


а

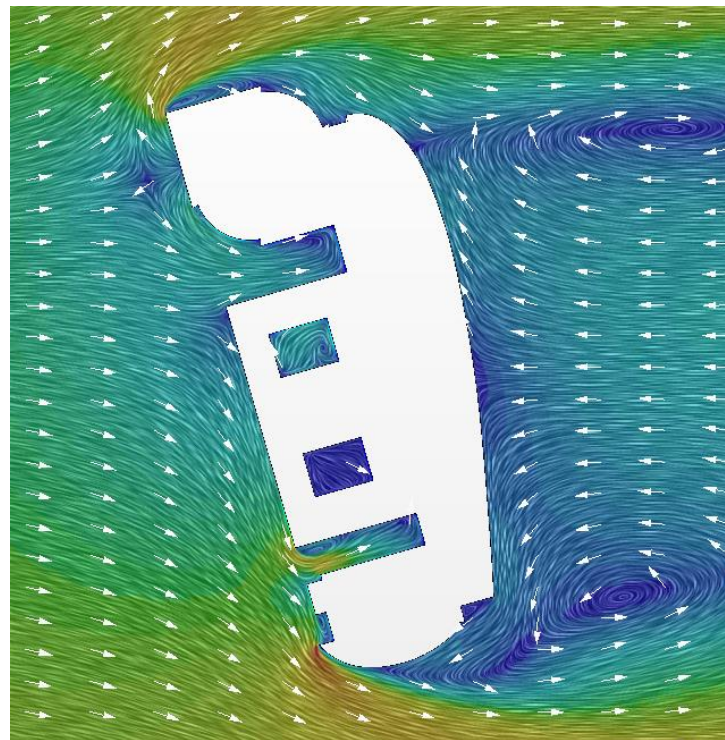


б

Рис. 2.5.2 Распределение ветровых потоков на расстоянии 1.5м над землей при $\beta = 0^\circ$:
а – критерий Q ; б – поле горизонтальной составляющей вектора скорости

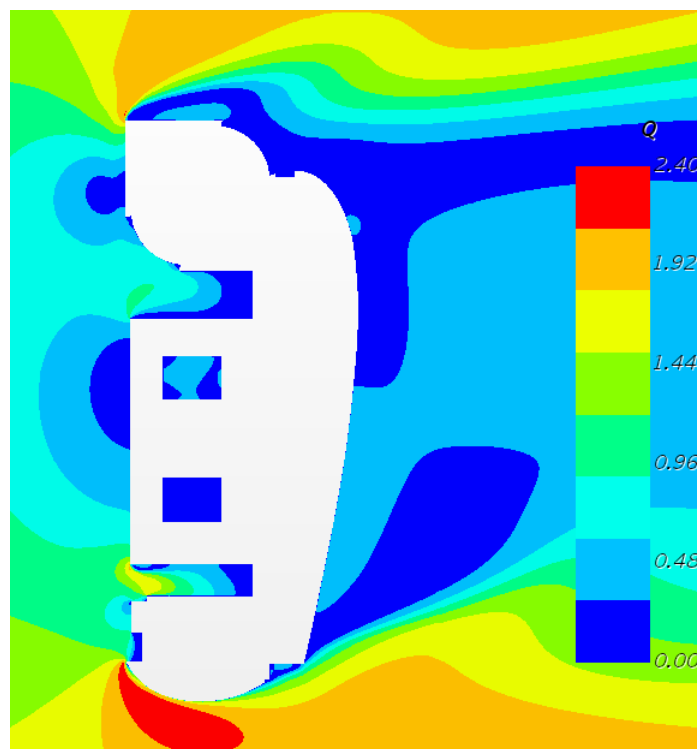


а

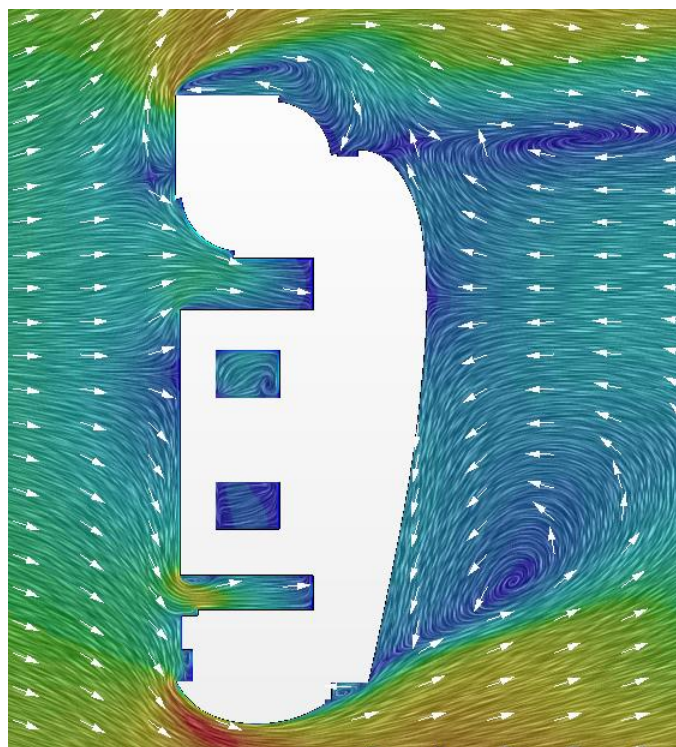


б

Рис. 2.5.3 Распределение ветровых потоков на расстоянии 1.5м над землей при $\beta = 90^\circ$:
а – критерий Q ; б – поле горизонтальной составляющей вектора скорости

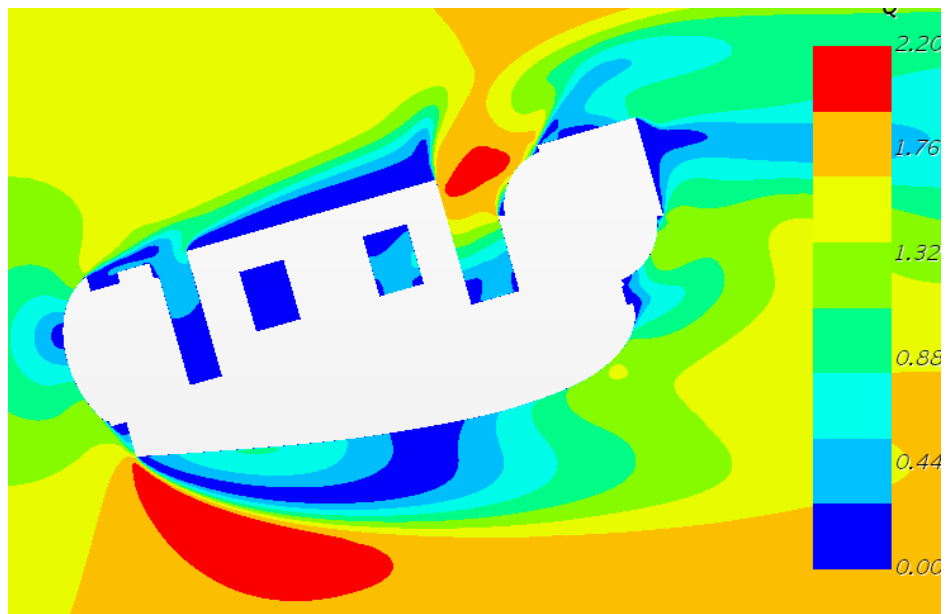


а

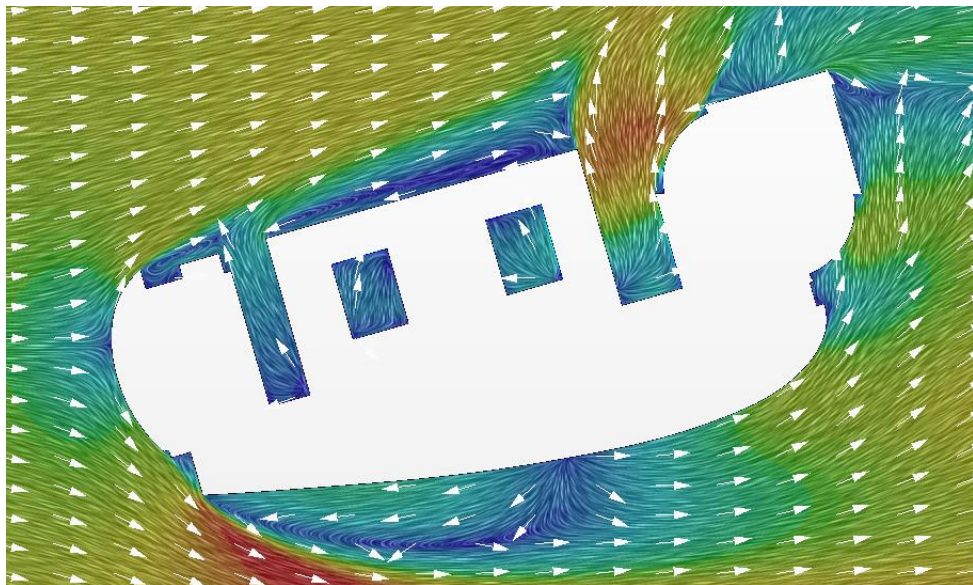


б

Рис. 2.5.4 Распределение ветровых потоков на расстоянии 1.5м над землей при $\beta = 106^\circ$:
а – критерий Q ; б – поле горизонтальной составляющей вектора скорости

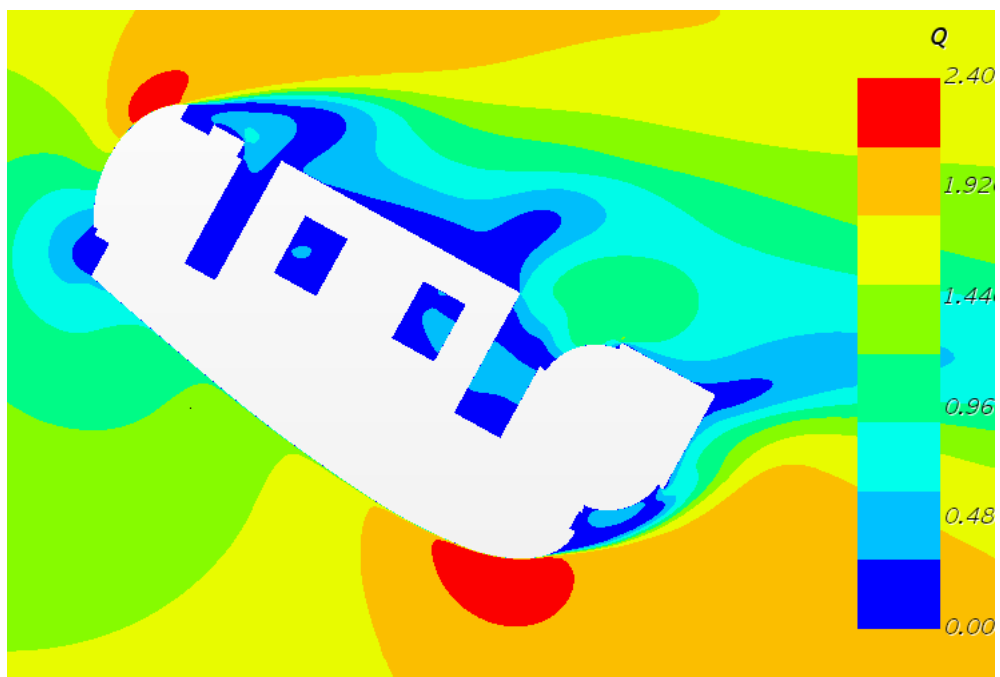


а

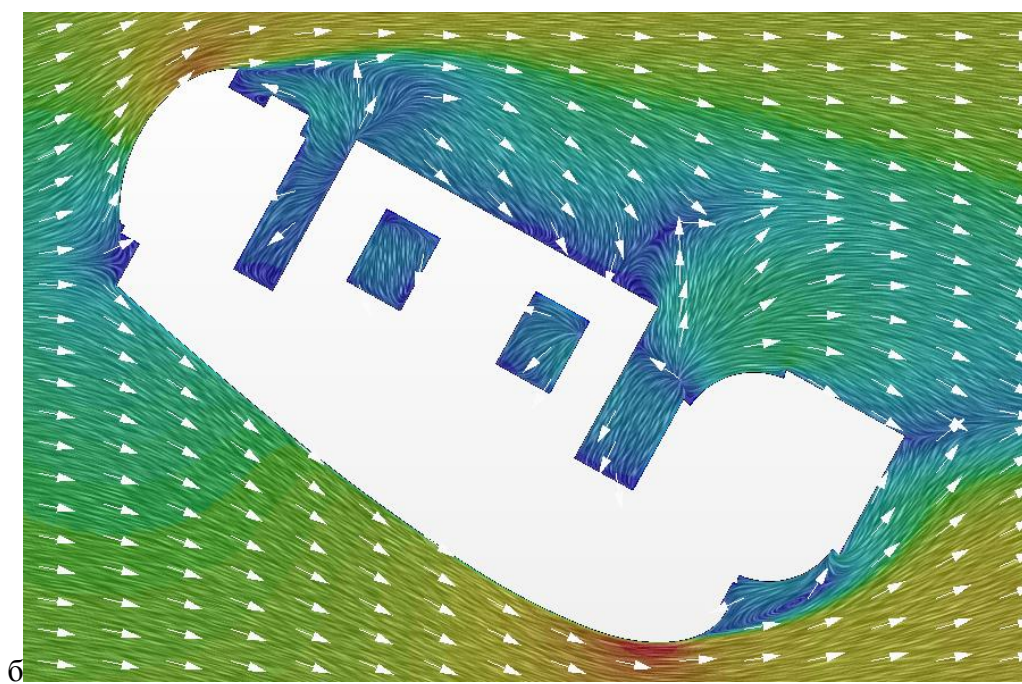


б

Рис. 2.5.5 Распределение ветровых потоков на расстоянии 1.5м над землей при $\beta = 180^\circ$:
а – критерий Q ; б – поле горизонтальной составляющей вектора скорости

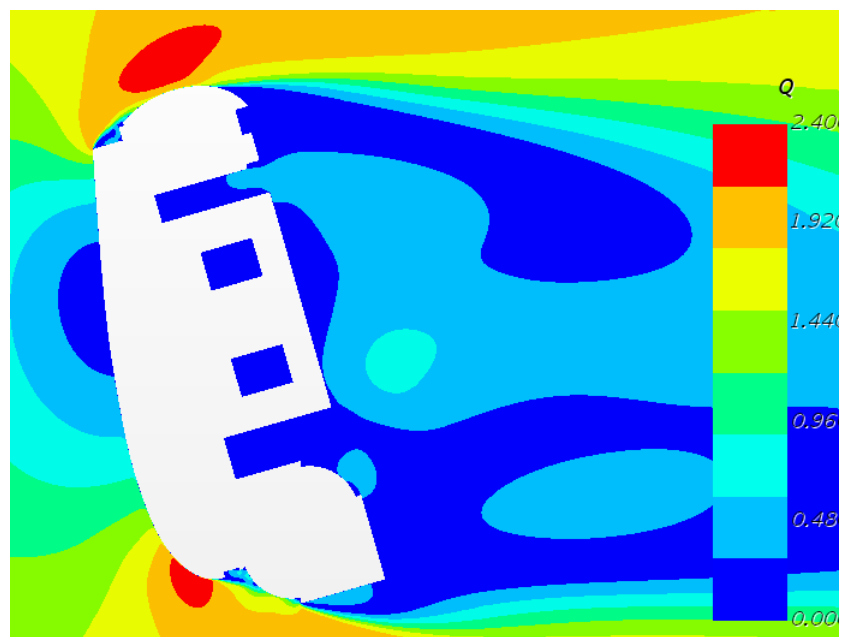


а

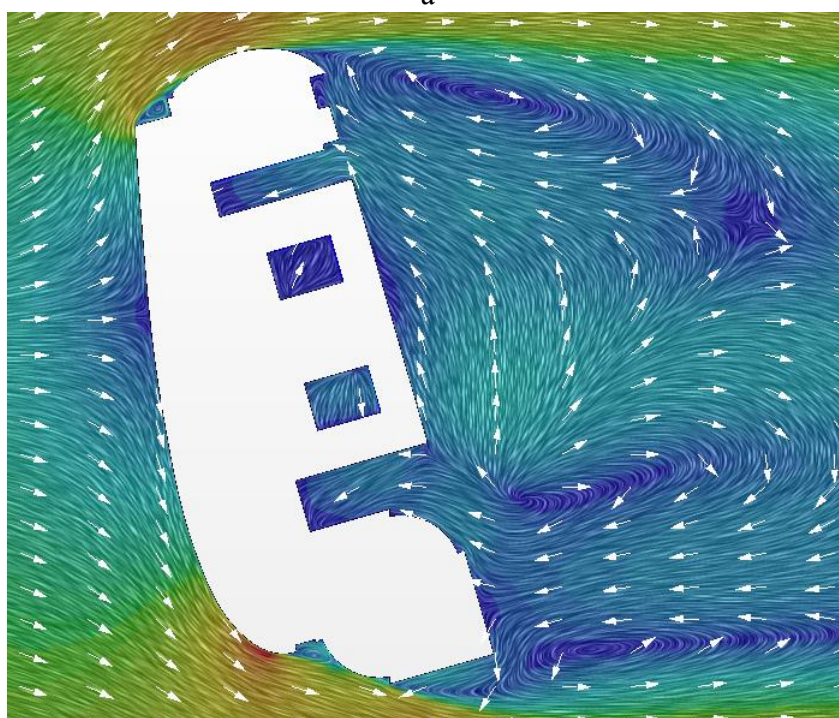


б

Рис. 2.5.6 Распределение ветровых потоков на расстоянии 1.5м над землей при $\beta = 225^\circ$:
а – критерий Q ; б – поле горизонтальной составляющей вектора скорости

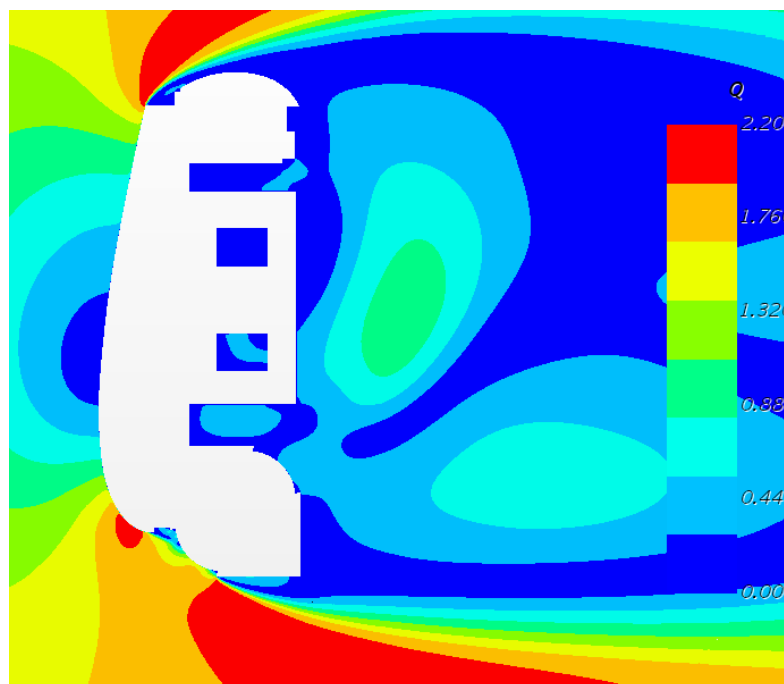


а

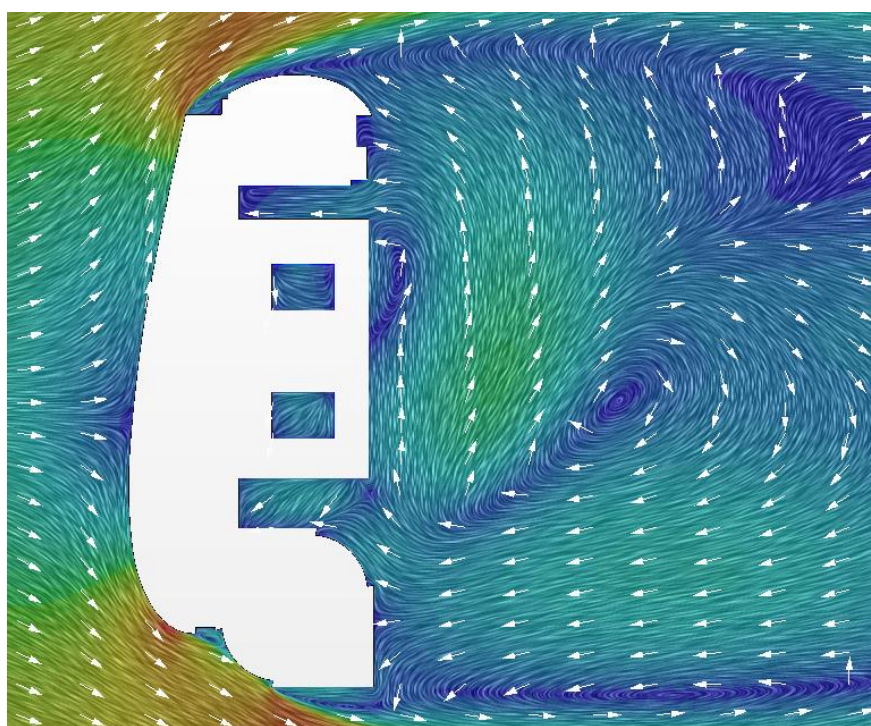


б

Рис. 2.5.7 Распределение ветровых потоков на расстоянии 1.5м над землей при $\beta = 270^\circ$:
а – критерий Q ; б – поле горизонтальной составляющей вектора скорости

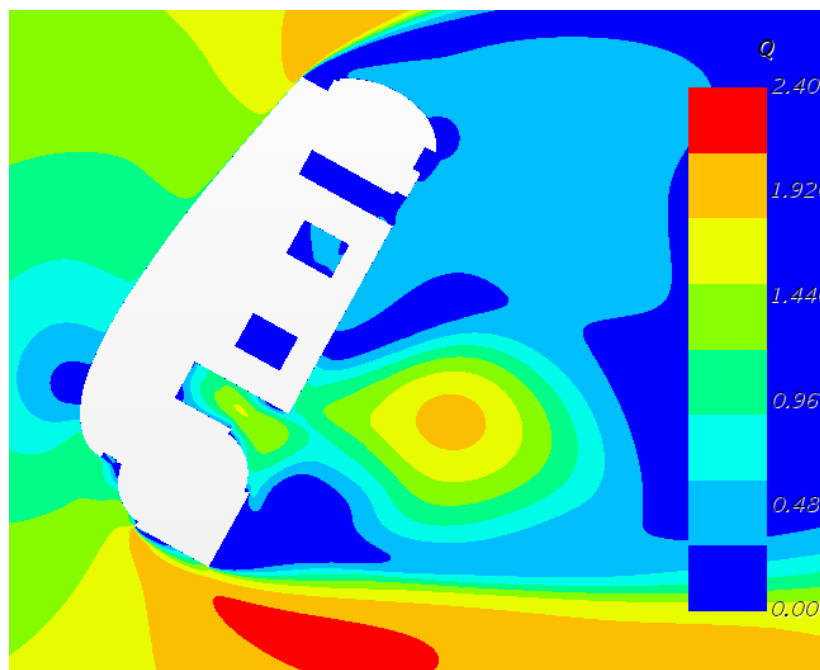


а

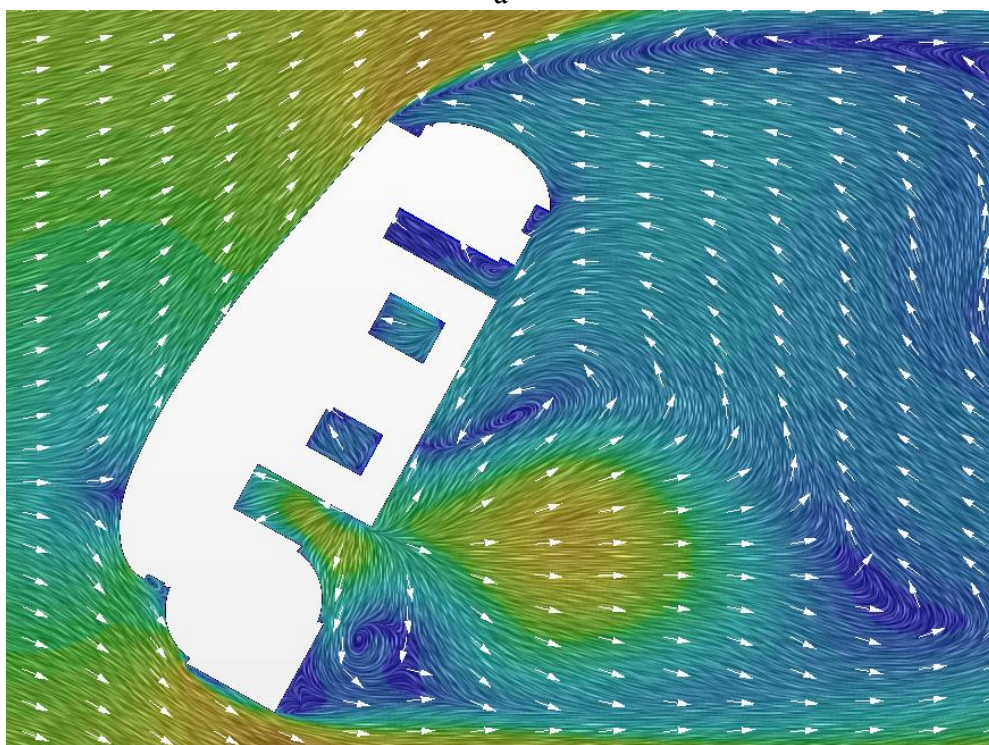


б

Рис. 2.5.8 Распределение ветровых потоков на расстоянии 1.5м над землей при $\beta = 286^\circ$:
а – критерий Q ; б – поле горизонтальной составляющей вектора скорости



а



б

Рис. 2.5.9 Распределение ветровых потоков на расстоянии 1.5м над землей при $\beta = 315^\circ$:
а – критерий Q ; б – поле горизонтальной составляющей вектора скорости

Представленные на Рис. 2.5.2–2.5.9 распределения показывают наличие на территории комплекса зон преимущественного усиления и ослабления настилающего ветра. Усиление ветра происходит, в основном, в результате

формирования струй при обтекании выпуклых фасадов корпусов «В», «Г», а также при взаимодействии ветра со ступенчатым контуром комплекса с западной стороны (проем около корпуса «Б», рис. 2.5.5). При этом существуют зоны, в которых наоборот, наблюдается ослабление ветра по сравнению с основным фоном.

Для Москвы характерен ветер со средней скоростью до 2 м/с на уровне 10 м от земли (СП 31.13330.2012). Соответственно, в области пешеходных зон территории на уровне 1,5 м от земли в локальных зонах, имеющих оттенки красного цвета, средняя скорость может составлять порядка 3–5 м/с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методом комплексного аэрофизического (в аэродинамической трубе) и математического (CFD) моделирования определены распределения средних и пиковых ветровых нагрузок на фасадах объекта при различных направлениях настилающего ветра с учетом аэродинамической интерференции разновысотных корпусов сложной конфигурации. Итоговые результаты представлены в виде таблиц и графиков распределений ветровых нагрузок.

Рекомендации по назначению расчетных ветровых нагрузок и уровней снеговых отложений, которые необходимо учитывать при проектировании несущих конструкций корпуса «В» и входной группы между корпусами «А»–«Б» представлены в виде:

- визуализированных непрерывных распределений ветровых нагрузок (рис. 2.1.2) и графиков (рис.2.1.3) в разделе 2.1.1.
- таблиц распределений базового аэродинамического коэффициента C_m по характерным участкам фасадов (Приложения Б и В).
- результатов определения коэффициента уровней снеговых отложений (Приложение Г и выводы 2.3.3 по разделу 2.3).

Рекомендации по назначению расчетных пиковых ветровых нагрузок, которые необходимо учитывать при проектировании ограждающих систем корпуса «В» и модифицированной входной группы представлены в виде:

- расчетных пиковых ветровых нагрузок на фасадах и покрытии корпуса «В» (таблицы 2.1.1–2.1.3 в разделе 2.1.2);
- распределений расчетных пиковых ветровых нагрузок на покрытии входной группы (таблицы 2.2.1 в разделе 2.2.2).

Определены распределения ветровых потоков на территории расположения объекта, влияющие на ветровую комфортность пешеходных зон. Показано наличие и расположение зон преимущественного усиления и ослабления настилающего ветра (рис. 2.5.2–2.5.9 раздела 2.5).

Определены стационарные и пиковые ветровые нагрузки на ограждения мостового перехода между корпусами «А» и «Б» (таблица 2.4.1 раздела 2.4).

В результате сравнительного анализа расчетных и экспериментальных данных установлено, что оснащение башен «А», «Б» дополнительными элементами (мезонином и мостовым переходом) не приводит к увеличению ветровых нагрузок на фасады и покрытие указанных корпусов (таблицы 2.4.2-2.4.4).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Свод правил СП 20.13330.2011/2016 «Нагрузки и воздействия».
2. ГОСТ Р 56728-2015 – «Здания и сооружения. Методика определения ветровых нагрузок на ограждающие конструкции». – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2015. Код ОКС 91.080.01. – 12 с.
3. МДС 20-1.2006. Временные нормы по назначению нагрузок и воздействий, действующих на многофункциональные высотные здания и комплексы в Москве. МДС-20-1.2006/ ФГУП «НИЦ Строительство». – М.: ФГУП ЦПП, 2006. – 27 с.
4. American Society of Civil Engineers. Minimum design loads for buildings and other structures. ANSi/ASCE 7-95. ASCE. New York. 1998.
5. Табунщиков Ю.А., Шилкин Н.В. Аэродинамика высотных зданий // АВОК. 2004. №8.
6. Wind Engineering – Building Aerodynamics/ Force Technology. www.force.dk.
7. Симиу Э., Сканлан Р. Воздействие ветра на здания и сооружения. М.: Стройиздат. 1984. – 360 с.
8. Ветровая нагрузка на сооружения. Г.А. Савицкий – М.: Издательство литературы по строительству 1972. – 110 с.
9. Гувернюк С.В., Гагарин В.Г. Компьютерное моделирование аэродинамических воздействий на элементы ограждений высотных зданий. // Журнал АВОК. 2006. №8 стр. 18-24; 2007 №1 стр. 16-22.
10. Аэродинамические установки Института механики Московского университета./ Под ред. Г.Г. Черного, А.И. Зубкова, Ю.А. Панова. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. – 44 с.
11. A Modern Course in Aeroelasticity. / Fourth Revised and Enlarged Edition. / Editors: Earl H. Dowell / Solid mechanics and its applications – Boston, London: Kluwer Academic Publishers-Dordrecht, 2005. Vol. 116. – 781 pages.
12. СП 267.1325800.2016 «Здания и комплексы высотные. Правила проектирования».
13. Исаев С.А., Баранов П.А., Жукова Ю.В. и др. Моделирование ветрового воздействия на ансамбль высотных зданий с помощью многоблочных вычислительных технологий // Инженерно-физический журнал. 2014. Т. 87, № 1. С. 107–118.
14. Гагарин В.Г., Гувернюк С.В., Кубенин А.С. О достоверности компьютерных прогнозов при определении ветровых воздействий на здания и комплексы. // Жилищное строительство, 2014. № 7. С. 3–8.

15. H.W. Tieleman, R.E. Akins. Mean and fluctuating pressure distributions rectangular prisms immersed in a variety of turbulent shear flows. AIAA/ASME/SIAM/APS , Ist National Fluid Dynamics Congress, July25-28, 1998,v.2, p. 1749-1756. Cincinnati, OHIO.
16. N.A. Popov, V.I. Travush, M.A. Berezin. " Pedestrian Wind Comfort Study for Moscow International Business Center ", IV Symposium Environmental Effects on Buildings and People - Actions, influences, interactions, discomfort; Susiec, POLAND, 16-18 June 2004. p. 91 – 94.
17. МГСН 4.19-05 «Многофункциональные высотные здания и комплексы»
18. H. Koss, J. Sahlmen. Methods in pedestrian wind comfort assessment; theoretical and practical comparison", in "Impact of Wind and Storm on City life and Built Environment", Proceeding of the Workshop, June 3rd – 4th 2002 NANTES (France). p. 70–89.
19. N.A. Popov, V.I. Travush, M.A. Berezin. " Pedestrian Wind Comfort Study for Moscow International Business Center ", IV Symposium Environmental Effects on Buildings and People - Actions, influences, interactions, discomfort; Susiec, POLAND, 16-18 June 2004. p. 91–94
20. J.A Wisse, H.W. Krus, F. Willemsen. Wind comfort assessment by CFD, in "Impact of Wind and Storm on City life and Built Environment", Proceeding of the Workshop, June 3rd – 4th 2002 NANTES (France). p. 154–163
21. Гувернюк С.В., Кубенин А.С. К оценке относительной комфортности пешеходных зон на территории высотной застройки. С. 21-27 / В сб.: Качество внутреннего воздуха и окружающей среды = Indoor airquality and environmental: материалы XVI Международной научной конф., 16–29 сентября 2018 г., г. Флоренция / М-во науки и высшего образования РФ, НИИСФ РААСН, Нижегородское представительство ЮТО РААСН, Фонд Ромуальдо Дель Бьянко (Италия), НИУ МГСУ – Волгоград: Изд-во ВолгГМУ, 2018. – 260 с.
22. Гувернюк С. В., Синявин А. А., Гагарин В. Г. Метод экспресс-оценки интегральных ветровых нагрузок на высотное здание // Жилищное строительство. — 2019. — № 6. — С. 43–48.
23. Отчет НИИМ МГУ По договору № 107-С15/2019 от «05» марта 2019 г. с НИИСФ РААСН. 2019. 32 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Оборудование и программное обеспечение

А.1 Описание аэродинамической трубы А-6

Установка А-6⁹ НИИ механики МГУ одноканальная, с замкнутым контуром (рис. А.1). Открытая рабочая часть имеет длину 4 м и эллиптическое поперечное сечение с размерами главных осей 2.34 м и 4 м (площадь поперечного сечения 7.2 м^2). Максимальная скорость потока при наличии модели – 55 м/с.

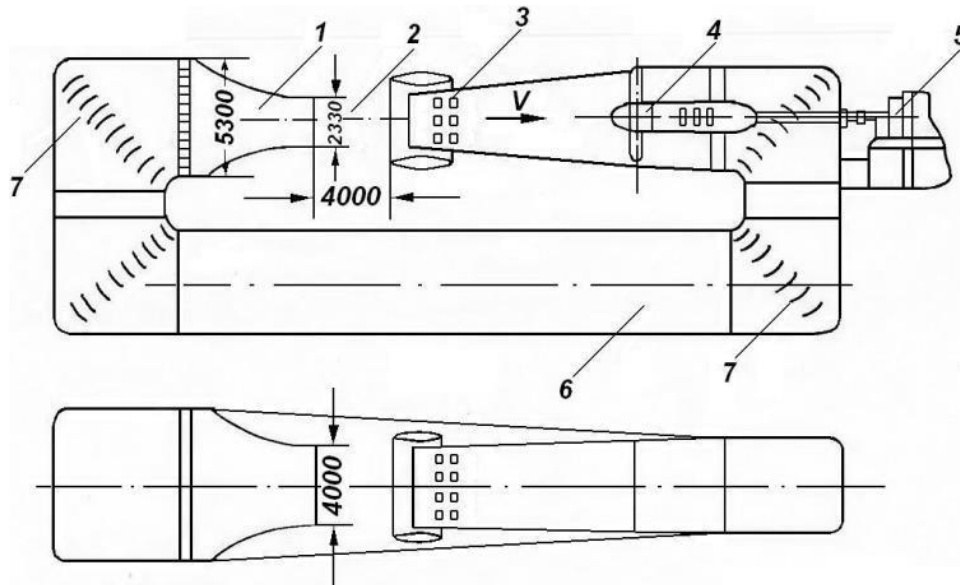


Рис. А.1 Схема трубы А-6 НИИ механики МГУ: 1 – сопло, 2 – рабочая часть, 3 – диффузор, 4 – вентилятор, 5 – двигатель постоянного тока, 6 – обратный канал, 7 – поворотные лопатки.

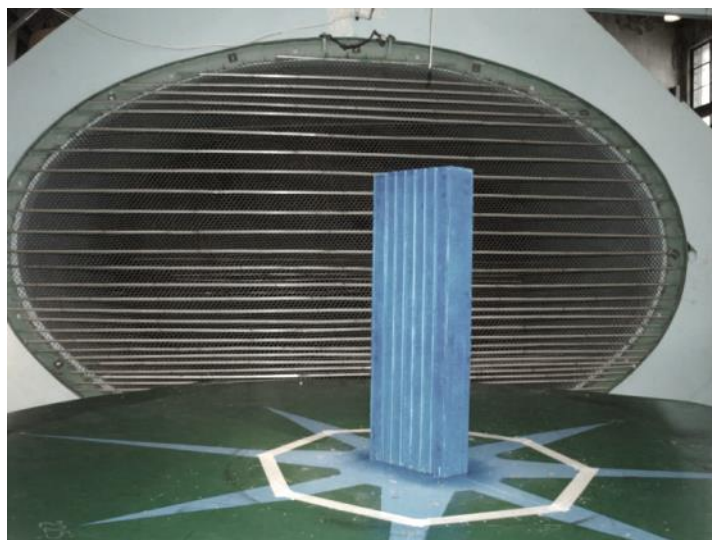


Рис. А.2 Контрольная модель на рабочем столе в аэродинамической трубе А-6 (на заднем плане – двухслойный экран переменной воздухопроницаемости для формирования неравномерного по высоте профиля скорости потока)

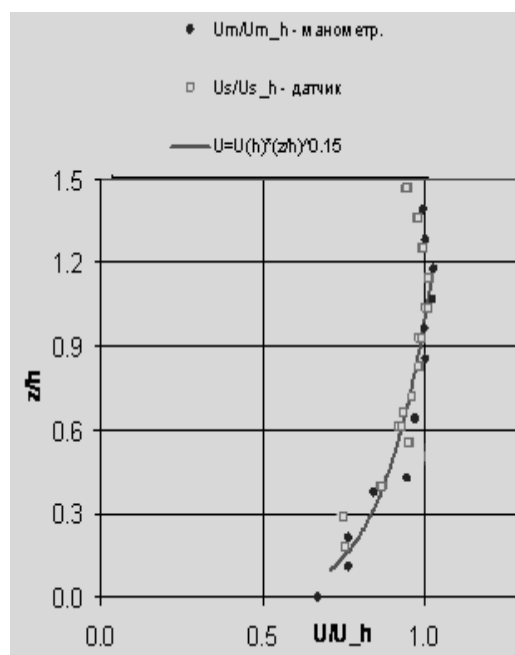


Рис. А.3

⁹Труба имеет сертификат ГЦИ СИ ЦАГИ 7-35/16.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЦЕНТР ИСПЫТАНИЙ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ
Центрального аэрогидродинамического института им. проф. Н.Е. Жуковского
ГЦИ СИ ЦАГИ

СЕРТИФИКАТ О КАЛИБРОВКЕ № 7-35/16

Действительно до
«27» апреля 2021 г.

Средство измерений Установка аэродинамическая А6
заводской номер №08
принадлежащее НИИ механики МГУ
наименование юридического лица, индивидуального предпринимателя, ИНН
откалибровано в соответствии с методикой МИ 2000-89
наименование и обозначение документа, на основании которого проведена поверка

с применением эталонов приемника давления ПД-53 №61,
наименование, заводской номер, разряд, класс или погрешность
микроманометра МКВ-250 №5126
при следующих значениях влияющих факторов: температура окружающего воздуха 20,3°С,
приводит перечень влияющих факторов,
относительная влажность воздуха 46,0 %, атмосферное давление 100,2 кПа
с указанием их значений
и на основании результатов калибровки (см. на обороте) признано пригодным к применению для
проведения учебно-научных и прикладных исследований аэродинамических характеристик объектов.

Калибровочное клеймо



Заместитель руководителя
ГЦИ СИ ФГУП «ЦАГИ»

подпись

В.К. Маскаев
инициалы, фамилия

«27» апреля 2016 г.

Рис. А.4 Сертификат ГЦИ СИ ЦАГИ

При отсутствии загромождений в рабочей части неравномерность поля не превышает $\pm 0.5\%$, скос потока в горизонтальной и вертикальной плоскостях не более $\pm 0.25^\circ$, градиент статического давления порядка 0.002 м^{-1} , интенсивность начальной турбулентности 0.2% . С помощью специальных решетчатых и сетчатых вставок в выходном сечении сопла (рис. А.2) можно искусственно увеличивать интенсивность турбулентности до 4% и формировать сдвиговый неравномерный профиль среднего скоростного напора в продольном направлении с различными законами изменения по высоте над уровнем горизонтального экрана, имитирующего подстилающую поверхность при испытаниях макетов строительных сооружений, рис. А.2–А.3. Толщина

регулируемого степенного участка неравномерности потока 900 мм. Труба А-6 также оснащена средствами весовых испытаний двух типов: штатными электромеханическими шестикомпонентными весами и переносными тензовесами.

А.2 Технические сведения о датчиках давления

Датчики давления– модель MPXV7002 Integrated Silicon Pressure Sensor On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated; рабочий диапазон -2 to +2 kPa; Typical Error (типичная ошибка на серию датчиков) 2.5%.

Применяется метод стабилизации показаний и градуировка каждого датчика в отдельности, что позволяет обеспечить точность датчика 5-10Па в рабочем диапазоне эксперимента (градуировка выполнялась для диапазона давлений, которое прикладывалось к датчику во время эксперимента).

Дополнительные испытания проведены с использованием (близких по характеристикам к вышеописанным) датчиков давления DUXL10DHoneywel (диапазон – -2.5 +2.5 кПа). Питание осуществляется от блока, изготовленного для работы с датчиками давления. Выходное напряжение 5 вольт, точность поддержания напряжения +/- 0,002 вольт. На рис. А.5 дан пример препарировки модели встроенными высокочастотными датчиками давления, позволяющими измерять стационарную и пульсационную составляющие ветрового давления в дренажных точках, распределенных по поверхности фасадов модели здания.



Рис. А.5

А.3 Регистрирующая аппаратура

Тензовесы и датчики давления подключаются к плате АЦП в компьютере через порт USB. АЦП – модель USB-6225 производство National Instruments; опрос по 80 каналам, дискретизация 16 bits, частота опроса до 250 kS/s.

В экспериментах используется блоки такой аппаратуры с общим количеством каналов регистрации 160 и 200.

А.4 Технические сведения о термоанемометре

При проведении анемометрических измерений скорости потока и интенсивности турбулентности используются два термоанемометра постоянной температуры 55M01 и двухнитевой датчик фирмы DISA (Дания).

А.5 Верификация физического моделирования в АДТ А-6 и математического CFD-моделирования турбулентного обтекания объектов строительной аэродинамики

Пример взаимной *верификации* применяемых методов физического и математического моделирования демонстрируется на рис. А.6, где представлены результаты расчета распределения аэродинамического коэффициента C_p на периметре горизонтального сечения контрольной модели (рис. А.2, рис. А.6,а). На графиках

рис. А.6,б,в по оси абсцисс отложена нормированная длина вдоль периметра горизонтального сечения экспериментальной модели на уровне 75% от её высоты.

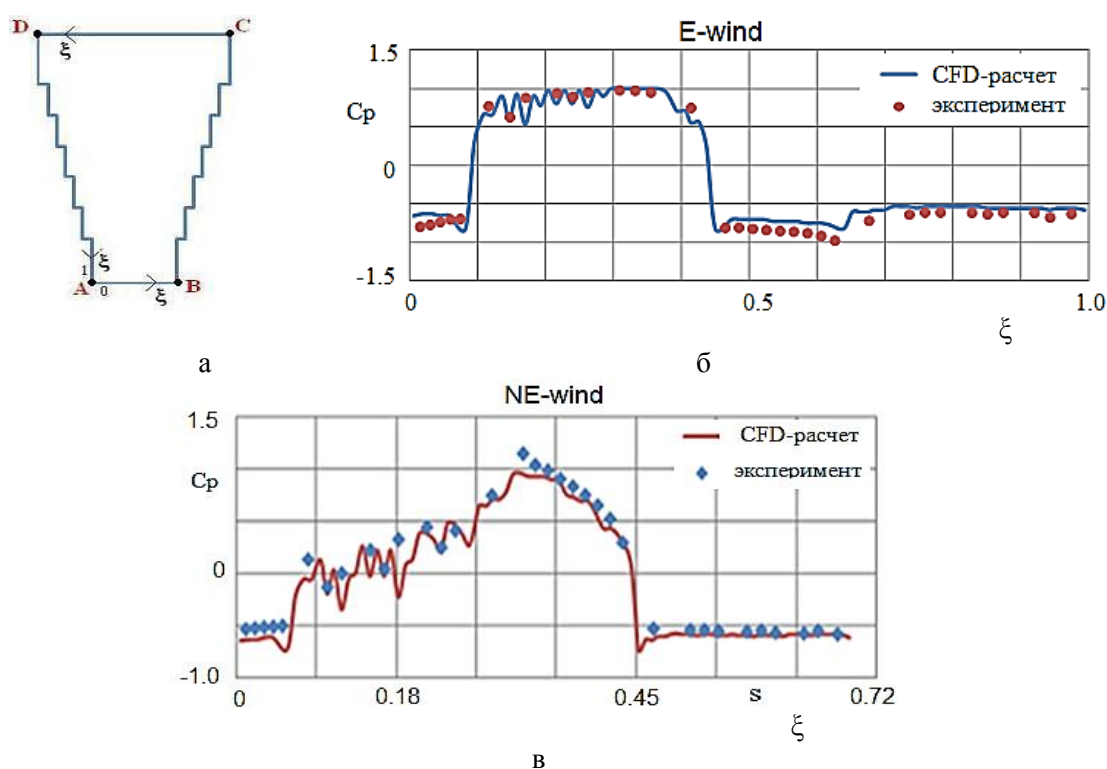


Рис. А.6

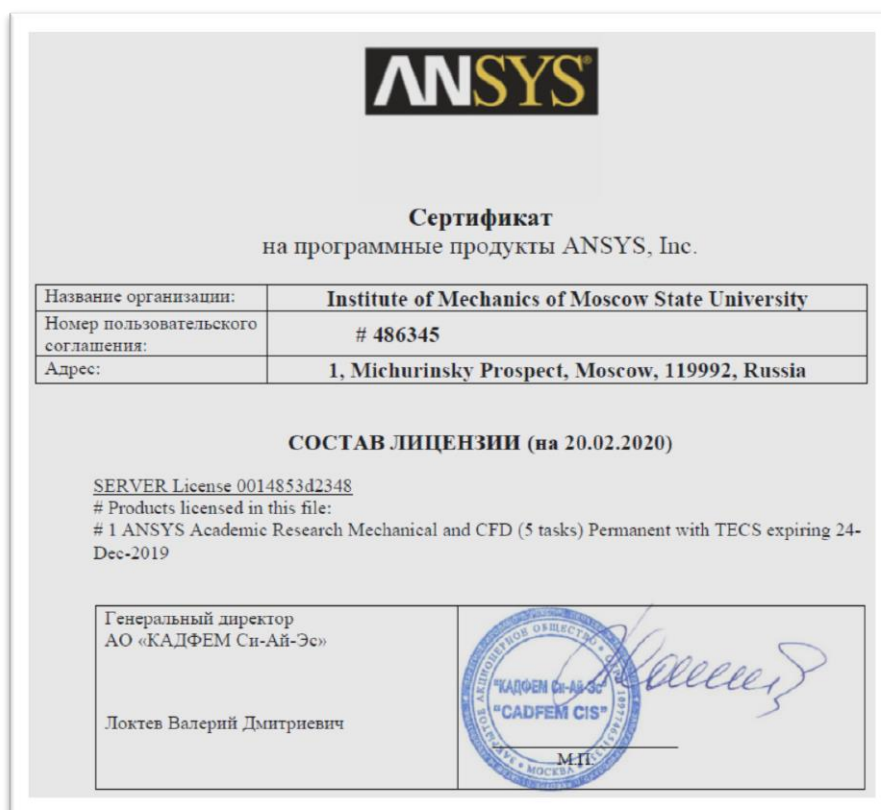


Рис. А.7

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблицы распределений C_m на фасадах и покрытии корпуса «В»

В таблицах приведены значения базового аэродинамического коэффициента [2] $C_m = f(z_c, \beta, j)$ по результатам дренажных измерений на макетах корпусов комплекса для типа местности «В». Порядок отсчета азимута настиляющего ветра β и схема расположения контрольных точек на фасадах показаны на рис. 2, рис. 2.1.1.

Таблица Б1. Значения $C_m = f(\beta, j, z)$ на фасадах корпуса В

β , град.	Номера контрольных точек j на отметке $z_i = 40$ м											
	J=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0.99	1.03	0.35	-0.31	-0.46	-0.45	-0.44	-0.31	-0.29	-0.31	-0.24	-0.21
5	1.00	1.01	0.10	-0.55	-0.67	-0.61	-0.52	-0.38	-0.34	-0.35	-0.26	-0.23
10	1.01	0.93	-0.18	-0.81	-0.84	-0.72	-0.60	-0.43	-0.37	-0.37	-0.28	-0.24
15	1.03	0.83	-0.45	-1.04	-0.98	-0.78	-0.62	-0.44	-0.38	-0.37	-0.28	-0.25
20	1.04	0.71	-0.74	-1.20	-1.03	-0.78	-0.59	-0.45	-0.41	-0.39	-0.32	-0.28
25	1.03	0.50	-0.95	-1.28	-0.99	-0.67	-0.56	-0.47	-0.44	-0.40	-0.33	-0.28
30	1.01	0.13	-1.21	-1.42	-1.07	-0.73	-0.52	-0.38	-0.33	-0.32	-0.25	-0.22
35	1.00	-0.19	-1.46	-1.50	-1.04	-0.65	-0.49	-0.38	-0.34	-0.30	-0.22	-0.19
40	0.99	-0.29	-1.74	-1.60	-1.05	-0.64	-0.48	-0.37	-0.32	-0.29	-0.23	-0.21
45	0.60	0.19	-1.71	-1.26	-0.65	-0.52	-0.48	-0.43	-0.36	-0.32	-0.29	-0.30
50	-0.44	0.00	-1.51	-1.02	-0.54	-0.46	-0.41	-0.38	-0.33	-0.31	-0.29	-0.31
55	-0.91	-0.74	-0.90	-0.62	-0.57	-0.51	-0.48	-0.45	-0.41	-0.40	-0.36	-0.35
60	-0.64	-0.79	-0.69	-0.56	-0.48	-0.48	-0.48	-0.47	-0.43	-0.42	-0.38	-0.36
65	-0.61	-0.67	-0.59	-0.55	-0.50	-0.49	-0.47	-0.46	-0.43	-0.43	-0.38	-0.36
70	-0.54	-0.56	-0.51	-0.54	-0.50	-0.47	-0.44	-0.43	-0.40	-0.40	-0.35	-0.33
75	-0.51	-0.53	-0.48	-0.51	-0.47	-0.44	-0.42	-0.41	-0.37	-0.37	-0.32	-0.32
80	-0.54	-0.54	-0.44	-0.44	-0.43	-0.42	-0.40	-0.40	-0.37	-0.37	-0.32	-0.31
85	-0.43	-0.45	-0.35	-0.36	-0.35	-0.33	-0.30	-0.31	-0.32	-0.37	-0.41	-0.46
90	-0.43	-0.44	-0.36	-0.35	-0.34	-0.31	-0.29	-0.32	-0.35	-0.43	-0.46	-0.50
95	-0.42	-0.43	-0.39	-0.39	-0.35	-0.32	-0.32	-0.37	-0.40	-0.47	-0.49	-0.52
100	-0.42	-0.44	-0.41	-0.38	-0.33	-0.33	-0.36	-0.42	-0.45	-0.52	-0.53	-0.55
105	-0.44	-0.46	-0.42	-0.37	-0.34	-0.36	-0.39	-0.44	-0.47	-0.54	-0.55	-0.57
110	-0.46	-0.48	-0.42	-0.36	-0.36	-0.40	-0.43	-0.48	-0.50	-0.56	-0.57	-0.58
115	-0.48	-0.49	-0.41	-0.35	-0.37	-0.42	-0.44	-0.49	-0.51	-0.57	-0.58	-0.59
120	-0.48	-0.48	-0.40	-0.37	-0.41	-0.45	-0.47	-0.51	-0.52	-0.59	-0.58	-0.58
125	-0.42	-0.43	-0.38	-0.39	-0.43	-0.47	-0.48	-0.52	-0.54	-0.59	-0.55	-0.55
130	-0.42	-0.42	-0.38	-0.41	-0.44	-0.47	-0.49	-0.53	-0.53	-0.56	-0.54	-0.55
135	-0.43	-0.43	-0.41	-0.42	-0.43	-0.46	-0.47	-0.51	-0.51	-0.55	-0.53	-0.55
140	-0.43	-0.44	-0.44	-0.43	-0.43	-0.45	-0.47	-0.52	-0.53	-0.58	-0.57	-0.60
145	-0.44	-0.44	-0.45	-0.46	-0.45	-0.48	-0.50	-0.56	-0.58	-0.65	-0.65	-0.69
150	-0.49	-0.47	-0.48	-0.49	-0.47	-0.50	-0.52	-0.59	-0.61	-0.69	-0.71	-0.76
155	-0.58	-0.50	-0.48	-0.51	-0.49	-0.51	-0.54	-0.60	-0.63	-0.71	-0.73	-0.80

160	-0.61	-0.52	-0.50	-0.56	-0.53	-0.54	-0.56	-0.62	-0.64	-0.72	-0.76	-0.83
165	-0.63	-0.38	-0.46	-0.72	-0.66	-0.60	-0.52	-0.49	-0.50	-0.64	-0.78	-0.85
170	-0.52	-0.35	-0.42	-0.74	-0.66	-0.51	-0.39	-0.37	-0.39	-0.48	-0.58	-0.76
175	-0.54	-0.34	-0.38	-0.72	-0.62	-0.43	-0.30	-0.25	-0.25	-0.32	-0.45	-0.68
180	-0.50	-0.28	-0.26	-0.57	-0.47	-0.36	-0.25	-0.18	-0.19	-0.20	-0.25	-0.42
185	-0.40	-0.21	-0.21	-0.49	-0.45	-0.36	-0.26	-0.19	-0.18	-0.18	-0.18	-0.29
190	-0.33	-0.20	-0.17	-0.41	-0.46	-0.42	-0.32	-0.23	-0.21	-0.19	-0.13	-0.19
195	-0.31	-0.21	-0.17	-0.35	-0.47	-0.44	-0.33	-0.22	-0.20	-0.17	-0.09	-0.09
200	-0.36	-0.25	-0.19	-0.38	-0.49	-0.45	-0.32	-0.20	-0.17	-0.14	-0.05	-0.04
205	-0.33	-0.24	-0.21	-0.47	-0.55	-0.47	-0.32	-0.17	-0.14	-0.09	0.01	0.02
210	-0.32	-0.26	-0.26	-0.60	-0.59	-0.46	-0.28	-0.13	-0.08	-0.03	0.08	0.10
215	-0.36	-0.28	-0.25	-0.64	-0.58	-0.42	-0.23	-0.07	-0.02	0.04	0.15	0.18
220	-0.40	-0.30	-0.26	-0.70	-0.59	-0.40	-0.19	-0.01	0.05	0.13	0.25	0.29
225	-0.52	-0.46	-0.40	-0.82	-0.59	-0.35	-0.13	0.05	0.13	0.20	0.32	0.38
230	-0.50	-0.47	-0.50	-0.85	-0.54	-0.27	-0.03	0.15	0.22	0.30	0.41	0.46
235	-0.56	-0.51	-0.70	-0.88	-0.48	-0.17	0.08	0.27	0.35	0.43	0.55	0.60
240	-0.63	-0.55	-0.97	-0.93	-0.42	-0.08	0.19	0.37	0.46	0.54	0.66	0.71
245	-0.77	-0.58	-1.20	-0.88	-0.31	0.04	0.29	0.47	0.56	0.63	0.73	0.78
250	-0.65	-0.55	-1.16	-0.74	-0.17	0.18	0.41	0.57	0.65	0.72	0.82	0.86
255	-0.56	-0.56	-1.05	-0.53	-0.01	0.28	0.49	0.64	0.72	0.79	0.87	0.91
260	-0.55	-0.55	-0.92	-0.33	0.18	0.41	0.55	0.65	0.69	0.77	0.88	0.92
265	-0.65	-0.67	-0.86	-0.18	0.32	0.53	0.63	0.70	0.71	0.76	0.85	0.89
270	-0.74	-0.78	-0.74	-0.01	0.45	0.61	0.67	0.70	0.67	0.71	0.78	0.82
275	-0.79	-0.92	-0.60	0.15	0.57	0.75	0.79	0.77	0.71	0.69	0.73	0.73
280	-0.72	-0.96	-0.50	0.37	0.73	0.82	0.81	0.82	0.79	0.75	0.75	0.74
285	-0.87	-0.84	-0.40	0.47	0.86	0.98	0.95	0.81	0.82	0.91	0.87	0.83
290	-0.75	-0.79	-0.20	0.62	0.94	1.00	0.97	0.90	0.85	0.77	0.66	0.58
295	-0.59	-0.83	0.01	0.77	1.00	1.02	0.98	0.92	0.89	0.79	0.75	0.65
300	-0.51	-0.73	0.20	0.88	1.03	1.00	0.95	0.88	0.85	0.77	0.73	0.65
305	-0.36	-0.53	0.39	0.95	1.03	0.96	0.89	0.82	0.79	0.71	0.68	0.59
310	-0.19	-0.26	0.61	1.01	1.00	0.89	0.80	0.73	0.70	0.62	0.60	0.52
315	-0.07	-0.07	0.79	0.95	0.92	0.82	0.72	0.64	0.61	0.53	0.51	0.44
320	0.09	0.10	0.91	1.01	0.84	0.67	0.56	0.49	0.46	0.39	0.39	0.34
325	0.21	0.27	0.99	0.94	0.72	0.56	0.46	0.40	0.37	0.30	0.30	0.26
330	0.33	0.44	1.03	0.85	0.59	0.43	0.33	0.29	0.26	0.19	0.20	0.17
335	0.46	0.60	1.02	0.71	0.43	0.27	0.19	0.16	0.14	0.07	0.10	0.07
340	0.58	0.72	0.98	0.57	0.28	0.13	0.06	0.05	0.04	-0.02	0.01	-0.01
345	0.73	0.85	0.87	0.35	0.07	-0.03	-0.09	-0.06	-0.06	-0.12	-0.07	-0.09
350	0.88	0.95	0.72	0.13	-0.12	-0.20	-0.22	-0.17	-0.15	-0.21	-0.14	-0.15
355	0.98	1.00	0.55	-0.09	-0.30	-0.33	-0.34	-0.26	-0.23	-0.28	-0.20	-0.20

Таблица Б1. (продолжение) Значения $C_m = f(\beta, j, z)$ на фасадах корпуса В

β , град.	Номера контрольных точек j на отметке $z_i = 40$ м									
	13	14	15	16	17	18				
0	-0.17	-0.15	-0.13	-0.20	-0.30	-0.73				
5	-0.17	-0.15	-0.11	-0.14	-0.22	-0.59				
10	-0.18	-0.14	-0.10	-0.11	-0.17	-0.53				
15	-0.19	-0.16	-0.11	-0.08	-0.13	-0.48				
20	-0.23	-0.19	-0.14	-0.10	-0.10	-0.39				
25	-0.22	-0.18	-0.15	-0.17	-0.13	-0.29				
30	-0.17	-0.15	-0.15	-0.33	-0.15	-0.06				
35	-0.15	-0.15	-0.16	-0.31	-0.13	0.15				
40	-0.18	-0.18	-0.19	-0.32	-0.11	0.37				
45	-0.30	-0.30	-0.30	-0.34	-0.08	0.75				
50	-0.30	-0.29	-0.28	-0.37	-0.09	0.75				
55	-0.32	-0.30	-0.29	-0.33	-0.05	0.78				
60	-0.32	-0.30	-0.29	-0.32	-0.08	0.80				
65	-0.32	-0.30	-0.29	-0.30	-0.05	0.81				
70	-0.30	-0.28	-0.27	-0.27	-0.11	0.82				
75	-0.29	-0.28	-0.26	-0.31	0.23	0.80				
80	-0.28	-0.27	-0.26	-0.38	0.12	0.54				
85	-0.46	-0.45	-0.43	-0.47	0.13	0.69				
90	-0.48	-0.46	-0.43	-0.52	0.12	0.63				
95	-0.49	-0.47	-0.45	-0.61	0.19	0.60				
100	-0.52	-0.49	-0.47	-0.69	0.32	0.57				
105	-0.53	-0.51	-0.49	-0.69	0.37	0.56				
110	-0.55	-0.54	-0.52	-0.70	0.44	0.53				
115	-0.55	-0.53	-0.50	-0.68	0.46	0.43				
120	-0.54	-0.53	-0.50	-0.70	0.50	0.46				
125	-0.52	-0.51	-0.49	-0.69	0.53	0.29				
130	-0.53	-0.52	-0.50	-0.65	0.61	0.16				
135	-0.54	-0.53	-0.50	-0.35	0.56	0.08				
140	-0.59	-0.58	-0.54	-0.15	0.67	0.02				
145	-0.68	-0.66	-0.61	-0.18	0.76	0.17				
150	-0.76	-0.74	-0.68	-0.11	0.56	0.09				
155	-0.80	-0.78	-0.71	0.22	0.55	0.12				
160	-0.83	-0.79	-0.72	0.39	0.53	0.10				
165	-0.87	-0.83	-0.74	0.73	0.40	-0.07				
170	-0.90	-0.90	-0.81	0.79	0.27	-0.09				
175	-0.84	-0.87	-0.80	0.81	0.12	0.32				
180	-0.64	-0.83	-0.86	0.72	0.13	0.28				
185	-0.48	-0.74	-0.86	0.81	0.20	0.40				
190	-0.32	-0.64	-0.83	0.91	0.29	0.25				
195	-0.09	-0.35	-0.73	0.93	0.29	-0.25				
200	0.02	-0.03	-0.42	0.92	0.24	-0.48				

205	0.10	0.10	0.03	0.95	0.07	-0.50						
210	0.18	0.20	0.26	0.97	-0.02	-0.60						
215	0.27	0.29	0.37	0.94	-0.13	-0.34						
220	0.39	0.44	0.55	0.90	-0.26	-0.15						
225	0.49	0.56	0.69	0.85	-0.41	-0.13						
230	0.56	0.63	0.76	0.78	-0.58	-0.23						
235	0.70	0.75	0.82	0.58	-0.62	-0.30						
240	0.80	0.86	0.94	0.47	-0.69	-0.42						
245	0.87	0.93	1.01	0.37	-0.69	-0.49						
250	0.94	0.99	1.04	0.07	-0.58	-0.52						
255	0.98	1.02	1.03	-0.42	-0.54	-0.51						
260	0.99	1.02	1.01	-0.79	-0.49	-0.51						
265	0.97	0.99	0.97	-0.71	-0.48	-0.49						
270	0.89	0.90	0.88	-0.65	-0.47	-0.45						
275	0.79	0.78	0.75	-0.58	-0.44	-0.40						
280	0.76	0.70	0.63	-0.59	-0.41	-0.40						
285	0.82	0.74	0.62	-0.49	-0.34	-0.43						
290	0.61	0.59	0.55	-0.52	-0.36	-0.40						
295	0.59	0.44	0.29	-0.53	-0.37	-0.42						
300	0.60	0.50	0.36	-0.45	-0.38	-0.46						
305	0.54	0.44	0.30	-0.45	-0.39	-0.49						
310	0.47	0.38	0.23	-0.42	-0.38	-0.53						
315	0.41	0.33	0.21	-0.37	-0.34	-0.65						
320	0.33	0.27	0.16	-0.32	-0.31	-0.68						
325	0.25	0.20	0.11	-0.27	-0.28	-0.71						
330	0.18	0.15	0.08	-0.24	-0.24	-0.73						
335	0.09	0.07	0.02	-0.24	-0.27	-0.77						
340	0.02	0.00	-0.03	-0.24	-0.31	-0.78						
345	-0.05	-0.06	-0.07	-0.23	-0.33	-0.79						
350	-0.10	-0.10	-0.10	-0.22	-0.32	-0.76						
355	-0.15	-0.13	-0.12	-0.21	-0.29	-0.75						

Таблица Б2. Значения $C_m = f(\beta, j, z)$ на фасадах корпуса В

β , град.	Номера контрольных точек j на отметке $z_i = 64$ м											
	j=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0.81	0.87	0.25	-0.23	-0.32	-0.35	-0.45	-0.39	-0.29	-0.33	-0.28	-0.24
5	0.81	0.85	0.04	-0.41	-0.44	-0.46	-0.53	-0.45	-0.33	-0.35	-0.29	-0.24
10	0.83	0.82	-0.20	-0.60	-0.59	-0.55	-0.59	-0.48	-0.36	-0.38	-0.32	-0.26
15	0.86	0.73	-0.37	-0.78	-0.70	-0.61	-0.60	-0.49	-0.41	-0.41	-0.38	-0.33
20	0.87	0.65	-0.53	-0.84	-0.75	-0.65	-0.58	-0.53	-0.50	-0.47	-0.41	-0.34
25	0.87	0.56	-0.67	-0.82	-0.73	-0.61	-0.55	-0.53	-0.49	-0.44	-0.38	-0.30
30	0.85	0.34	-0.91	-1.06	-0.82	-0.67	-0.60	-0.48	-0.43	-0.36	-0.28	-0.22
35	0.83	0.18	-1.13	-1.13	-0.81	-0.63	-0.52	-0.49	-0.42	-0.32	-0.24	-0.19
40	0.81	0.11	-1.38	-1.23	-0.91	-0.71	-0.58	-0.46	-0.39	-0.31	-0.24	-0.21
45	0.41	0.42	-1.22	-0.93	-0.67	-0.54	-0.51	-0.44	-0.38	-0.38	-0.40	-0.39
50	-0.61	-0.30	-1.06	-0.85	-0.69	-0.58	-0.47	-0.39	-0.34	-0.35	-0.38	-0.37
55	-0.51	-0.28	-0.92	-0.65	-0.57	-0.56	-0.54	-0.45	-0.41	-0.42	-0.41	-0.36
60	-0.55	-0.49	-0.71	-0.59	-0.52	-0.52	-0.53	-0.48	-0.44	-0.43	-0.39	-0.34
65	-0.59	-0.57	-0.57	-0.49	-0.51	-0.52	-0.53	-0.50	-0.48	-0.45	-0.38	-0.33
70	-0.55	-0.53	-0.47	-0.49	-0.51	-0.49	-0.50	-0.49	-0.47	-0.43	-0.35	-0.31
75	-0.53	-0.53	-0.43	-0.47	-0.47	-0.46	-0.47	-0.46	-0.44	-0.40	-0.34	-0.30
80	-0.53	-0.55	-0.42	-0.43	-0.45	-0.45	-0.46	-0.45	-0.43	-0.39	-0.34	-0.30
85	-0.44	-0.48	-0.32	-0.34	-0.35	-0.33	-0.33	-0.32	-0.32	-0.34	-0.43	-0.48
90	-0.46	-0.46	-0.33	-0.36	-0.34	-0.32	-0.31	-0.31	-0.33	-0.42	-0.54	-0.53
95	-0.44	-0.43	-0.36	-0.38	-0.34	-0.32	-0.34	-0.35	-0.38	-0.51	-0.61	-0.55
100	-0.44	-0.40	-0.37	-0.37	-0.34	-0.33	-0.36	-0.39	-0.44	-0.60	-0.69	-0.60
105	-0.45	-0.40	-0.37	-0.36	-0.34	-0.35	-0.38	-0.41	-0.48	-0.65	-0.70	-0.59
110	-0.45	-0.41	-0.37	-0.36	-0.36	-0.38	-0.42	-0.46	-0.54	-0.68	-0.66	-0.58
115	-0.46	-0.42	-0.38	-0.36	-0.37	-0.39	-0.43	-0.47	-0.55	-0.67	-0.69	-0.60
120	-0.46	-0.43	-0.38	-0.38	-0.40	-0.42	-0.46	-0.50	-0.57	-0.74	-0.63	-0.59
125	-0.43	-0.41	-0.38	-0.39	-0.42	-0.43	-0.49	-0.53	-0.65	-0.65	-0.57	-0.55
130	-0.43	-0.41	-0.40	-0.41	-0.42	-0.45	-0.54	-0.54	-0.58	-0.55	-0.55	-0.55
135	-0.46	-0.46	-0.42	-0.42	-0.42	-0.46	-0.51	-0.51	-0.51	-0.52	-0.55	-0.56
140	-0.53	-0.53	-0.46	-0.45	-0.43	-0.43	-0.46	-0.48	-0.49	-0.54	-0.59	-0.60
145	-0.58	-0.63	-0.47	-0.46	-0.44	-0.42	-0.46	-0.49	-0.52	-0.59	-0.66	-0.69
150	-0.58	-0.62	-0.47	-0.48	-0.44	-0.41	-0.45	-0.49	-0.53	-0.62	-0.71	-0.74
155	-0.57	-0.58	-0.47	-0.48	-0.43	-0.40	-0.47	-0.50	-0.54	-0.63	-0.69	-0.66
160	-0.61	-0.64	-0.48	-0.51	-0.44	-0.43	-0.51	-0.55	-0.58	-0.68	-0.69	-0.72
165	-0.59	-0.62	-0.52	-0.60	-0.53	-0.54	-0.70	-0.75	-0.77	-0.81	-0.72	-0.79
170	-0.52	-0.52	-0.51	-0.63	-0.60	-0.69	-0.86	-0.76	-0.63	-0.64	-0.64	-0.73
175	-0.55	-0.53	-0.53	-0.70	-0.83	-0.77	-0.60	-0.45	-0.43	-0.45	-0.50	-0.64
180	-0.58	-0.58	-0.51	-0.83	-1.08	-0.47	-0.29	-0.27	-0.25	-0.26	-0.31	-0.40
185	-0.57	-0.53	-0.43	-0.95	-1.03	-0.41	-0.31	-0.26	-0.17	-0.17	-0.16	-0.21
190	-0.40	-0.39	-0.27	-0.86	-0.59	-0.34	-0.28	-0.23	-0.16	-0.16	-0.13	-0.12
195	-0.31	-0.30	-0.29	-0.76	-0.45	-0.32	-0.28	-0.22	-0.13	-0.13	-0.09	-0.06
200	-0.35	-0.34	-0.35	-0.72	-0.44	-0.30	-0.26	-0.19	-0.10	-0.10	-0.05	-0.02

205	-0.35	-0.34	-0.40	-0.71	-0.42	-0.28	-0.24	-0.16	-0.07	-0.06	0.00	0.04
210	-0.34	-0.33	-0.71	-0.70	-0.40	-0.26	-0.21	-0.12	-0.03	-0.01	0.06	0.11
215	-0.35	-0.34	-0.60	-0.58	-0.37	-0.22	-0.16	-0.08	0.02	0.04	0.13	0.18
220	-0.39	-0.36	-0.61	-0.62	-0.38	-0.23	-0.16	-0.07	0.06	0.09	0.19	0.26
225	-0.48	-0.48	-0.90	-0.64	-0.36	-0.20	-0.13	-0.01	0.10	0.14	0.25	0.32
230	-0.48	-0.54	-0.81	-0.58	-0.31	-0.12	-0.02	0.07	0.18	0.23	0.34	0.42
235	-0.53	-0.61	-0.87	-0.57	-0.25	-0.05	0.05	0.16	0.27	0.31	0.41	0.50
240	-0.63	-0.73	-0.92	-0.55	-0.18	0.03	0.13	0.24	0.35	0.39	0.49	0.57
245	-0.65	-0.79	-0.88	-0.49	-0.10	0.12	0.23	0.35	0.45	0.48	0.57	0.64
250	-0.64	-0.79	-0.77	-0.35	0.06	0.27	0.38	0.48	0.56	0.59	0.66	0.73
255	-0.66	-0.83	-0.60	-0.15	0.26	0.45	0.54	0.62	0.69	0.72	0.77	0.82
260	-0.64	-0.82	-0.47	0.00	0.38	0.55	0.63	0.69	0.75	0.79	0.83	0.88
265	-0.73	-0.95	-0.37	0.12	0.50	0.64	0.71	0.77	0.81	0.84	0.88	0.91
270	-0.84	-1.02	-0.25	0.26	0.61	0.73	0.78	0.82	0.86	0.88	0.90	0.93
275	-1.03	-1.06	-0.15	0.38	0.71	0.80	0.83	0.85	0.87	0.88	0.89	0.91
280	-1.12	-1.03	-0.08	0.48	0.78	0.82	0.85	0.87	0.90	0.90	0.88	0.90
285	-1.17	-1.06	-0.04	0.55	0.81	0.84	0.85	0.81	0.84	0.90	0.88	0.87
290	-0.76	-0.95	-0.05	0.61	0.86	0.86	0.83	0.80	0.82	0.82	0.75	0.69
295	-0.51	-0.79	0.15	0.70	0.87	0.84	0.77	0.74	0.76	0.76	0.75	0.75
300	-0.29	-0.67	0.30	0.78	0.87	0.80	0.72	0.67	0.69	0.68	0.67	0.68
305	-0.11	-0.54	0.44	0.83	0.85	0.74	0.63	0.58	0.59	0.58	0.57	0.58
310	-0.14	-0.35	0.60	0.88	0.83	0.69	0.57	0.51	0.51	0.51	0.48	0.49
315	-0.42	-0.11	0.75	0.91	0.80	0.64	0.49	0.42	0.42	0.41	0.39	0.39
320	-0.14	0.10	0.81	0.85	0.70	0.53	0.38	0.32	0.31	0.28	0.28	0.29
325	0.28	0.32	0.86	0.80	0.60	0.42	0.27	0.22	0.21	0.18	0.18	0.21
330	0.38	0.48	0.89	0.72	0.50	0.32	0.16	0.13	0.12	0.08	0.08	0.10
335	0.38	0.59	0.86	0.60	0.37	0.20	0.05	0.03	0.03	-0.01	0.00	0.01
340	0.45	0.68	0.82	0.48	0.25	0.10	-0.05	-0.05	-0.04	-0.09	-0.07	-0.06
345	0.82	0.77	0.72	0.31	0.10	-0.03	-0.16	-0.14	-0.11	-0.16	-0.15	-0.12
350	0.86	0.82	0.58	0.12	-0.06	-0.15	-0.27	-0.23	-0.20	-0.24	-0.21	-0.17
355	0.84	0.85	0.43	-0.06	-0.20	-0.26	-0.36	-0.34	-0.26	-0.30	-0.26	-0.22

Таблица Б2. (продолжение) Значения $C_m = f(\beta, j, z)$ на фасадах корпуса В

β , град.	Номера контрольных точек j на отметке $z_i = 64$ м									
	13	14	15	16	17	18				
0	-0.16	-0.17	-0.14	-0.19	-0.31	-0.52				
5	-0.17	-0.16	-0.13	-0.15	-0.25	-0.47				
10	-0.20	-0.17	-0.14	-0.14	-0.20	-0.46				
15	-0.27	-0.23	-0.18	-0.13	-0.15	-0.45				
20	-0.27	-0.22	-0.18	-0.13	-0.14	-0.41				
25	-0.24	-0.20	-0.17	-0.19	-0.22	-0.36				
30	-0.17	-0.16	-0.17	-0.34	-0.34	-0.28				
35	-0.17	-0.17	-0.20	-0.33	-0.31	-0.14				
40	-0.20	-0.22	-0.25	-0.34	-0.24	0.08				
45	-0.36	-0.34	-0.33	-0.35	-0.20	0.20				
50	-0.33	-0.31	-0.30	-0.31	-0.46	0.25				
55	-0.32	-0.32	-0.31	-0.31	-0.50	0.27				
60	-0.32	-0.32	-0.32	-0.33	-0.51	0.27				
65	-0.31	-0.32	-0.33	-0.34	-0.48	0.30				
70	-0.29	-0.30	-0.31	-0.35	-0.47	0.31				
75	-0.28	-0.28	-0.29	-0.37	-0.37	0.30				
80	-0.28	-0.28	-0.28	-0.40	-0.39	0.14				
85	-0.46	-0.46	-0.44	-0.49	-0.40	0.32				
90	-0.48	-0.47	-0.45	-0.56	-0.34	0.32				
95	-0.50	-0.48	-0.46	-0.61	-0.23	0.29				
100	-0.52	-0.49	-0.49	-0.61	-0.09	0.29				
105	-0.52	-0.52	-0.51	-0.57	0.04	0.31				
110	-0.55	-0.55	-0.54	-0.61	0.36	0.34				
115	-0.57	-0.54	-0.53	-0.65	0.45	0.33				
120	-0.55	-0.54	-0.53	-0.77	0.51	0.41				
125	-0.53	-0.52	-0.51	-0.92	0.54	0.14				
130	-0.53	-0.53	-0.52	-0.76	0.64	0.04				
135	-0.54	-0.53	-0.52	-0.39	0.41	0.07				
140	-0.59	-0.58	-0.55	-0.14	0.36	0.01				
145	-0.67	-0.65	-0.62	-0.01	0.21	-0.03				
150	-0.71	-0.73	-0.68	0.10	0.34	0.07				
155	-0.85	-0.77	-0.72	0.31	0.16	0.03				
160	-0.90	-0.79	-0.74	0.42	0.15	0.05				
165	-0.94	-0.86	-0.78	0.56	-0.09	0.18				
170	-0.90	-0.94	-0.86	0.65	-0.27	0.24				
175	-0.82	-0.88	-0.84	0.75	-0.52	0.05				
180	-0.58	-0.82	-0.91	0.82	-0.20	-0.02				
185	-0.32	-0.67	-0.96	0.89	0.17	0.05				
190	-0.13	-0.50	-0.93	0.92	0.46	0.00				
195	-0.03	-0.20	-0.79	0.97	0.45	-0.15				
200	0.02	0.01	-0.44	0.98	0.36	-0.18				

205	0.07	0.07	0.07	0.97	-0.04	-0.22						
210	0.14	0.14	0.21	0.93	-0.29	-0.20						
215	0.23	0.23	0.31	0.87	-0.35	-0.23						
220	0.32	0.34	0.45	0.78	-0.43	-0.20						
225	0.39	0.45	0.58	0.64	-0.68	-0.27						
230	0.49	0.54	0.68	0.51	-0.73	-0.32						
235	0.59	0.65	0.77	0.36	-0.79	-0.36						
240	0.65	0.72	0.84	0.18	-0.80	-0.43						
245	0.71	0.77	0.88	-0.03	-0.79	-0.50						
250	0.79	0.84	0.90	-0.38	-0.66	-0.52						
255	0.87	0.90	0.92	-0.95	-0.63	-0.51						
260	0.91	0.92	0.91	-0.71	-0.57	-0.52						
265	0.93	0.93	0.89	-0.64	-0.55	-0.51						
270	0.94	0.94	0.88	-0.63	-0.55	-0.48						
275	0.94	0.93	0.86	-0.56	-0.52	-0.43						
280	0.92	0.90	0.81	-0.53	-0.49	-0.43						
285	0.88	0.84	0.73	-0.41	-0.40	-0.45						
290	0.72	0.75	0.66	-0.44	-0.40	-0.46						
295	0.76	0.70	0.56	-0.47	-0.41	-0.49						
300	0.69	0.65	0.52	-0.44	-0.41	-0.56						
305	0.60	0.55	0.43	-0.44	-0.43	-0.62						
310	0.51	0.47	0.35	-0.42	-0.41	-0.69						
315	0.43	0.38	0.27	-0.37	-0.38	-0.67						
320	0.33	0.30	0.20	-0.33	-0.35	-0.69						
325	0.25	0.23	0.15	-0.28	-0.32	-0.70						
330	0.16	0.16	0.10	-0.24	-0.27	-0.71						
335	0.07	0.07	0.03	-0.24	-0.31	-0.69						
340	0.00	0.00	-0.03	-0.24	-0.35	-0.64						
345	-0.06	-0.06	-0.07	-0.24	-0.37	-0.62						
350	-0.10	-0.10	-0.10	-0.22	-0.35	-0.60						
355	-0.15	-0.13	-0.13	-0.22	-0.33	-0.57						

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблицы распределений C_m

на покрытии входной группы между корпусами «А», «Б»

В таблицах приведены значения базового аэродинамического коэффициента [2] $C_m = f(\beta, j)$ по результатам дренажных измерений на покрытии макета входной группы в контрольных зонах $j = 1, 2$, (рис. 2.2.2).

Таблица В1. Значения $C_m = f(\beta, j)$ на покрытии входной группы между корпусами «А», «Б»

β , град.	Номера контрольных точек j (рис. 2.2.2)											
	$j=1$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	-0.66	-0.60	-0.06	-0.10	-0.23	0.54	-0.58	-0.74	-0.94	-0.67	-0.61	-0.69
5	-0.86	-0.54	-0.25	-0.27	-0.28	0.51	-0.66	-0.83	-0.91	-0.79	-0.68	-0.66
10	-0.88	-0.39	-0.29	-0.38	-0.26	0.62	-0.67	-0.88	-0.86	-0.77	-0.65	-0.59
15	-0.77	-0.23	0.14	-0.42	-0.20	0.64	-0.67	-0.78	-0.79	-0.69	-0.61	-0.52
20	-0.69	-0.18	0.60	-0.33	-0.11	0.74	-0.66	-0.67	-0.70	-0.67	-0.61	-0.43
25	-0.58	-0.19	0.62	-0.28	-0.12	0.64	-0.58	-0.63	-0.58	-0.61	-0.60	-0.31
30	-0.62	-0.95	0.52	-0.13	-0.23	0.68	-0.47	-0.52	-0.62	-0.47	-0.55	-0.15
35	-0.62	-1.22	0.18	-0.21	-0.39	0.38	-0.47	-0.51	-0.66	-0.48	-0.57	-0.27
40	-0.60	-1.17	-0.46	-0.46	-0.58	-0.11	-0.58	-0.59	-0.69	-0.65	-0.68	-0.52
45	-0.65	-1.12	-0.54	-0.60	-0.69	-0.36	-0.55	-0.69	-0.55	-0.80	-0.84	-1.10
50	-0.65	-0.96	-0.72	-0.70	-0.80	-0.61	-0.80	-0.95	-0.69	-0.82	-0.83	-1.02
55	-0.64	-0.70	-0.81	-0.73	-0.80	-0.81	-0.84	-0.95	-0.89	-0.84	-0.85	-1.00
60	-0.59	-0.70	-0.78	-0.72	-0.80	-0.78	-0.82	-1.02	-0.98	-0.82	-0.81	-1.02
65	-0.65	-0.68	-0.67	-0.75	-0.77	-0.71	-0.76	-0.92	-0.97	-0.81	-0.71	-1.10
70	-0.69	-0.63	-0.61	-0.75	-0.73	-0.69	-0.66	-0.85	-0.91	-0.85	-0.56	-0.86
75	-0.70	-0.59	-0.66	-0.72	-0.71	-0.71	-0.59	-0.82	-0.94	-0.93	-0.47	-0.59
80	-0.65	-0.55	-0.84	-0.66	-0.70	-0.79	-0.52	-0.79	-1.08	-1.15	-0.50	-0.13
85	-0.58	-0.54	-0.85	-0.60	-0.64	-0.72	-0.57	-0.70	-0.94	-1.71	-0.69	-0.58
90	-0.58	-0.64	-0.60	-0.58	-0.63	-0.58	-0.49	-0.70	-0.85	-1.61	-0.58	-0.35
95	-0.66	-0.72	-0.50	-0.62	-0.65	-0.51	-0.53	-0.76	-0.83	-1.74	-0.44	-0.29
100	-0.73	-0.75	-0.45	-0.64	-0.67	-0.47	-0.49	-0.80	-0.79	-1.83	-0.48	-0.33
105	-0.76	-0.70	-0.45	-0.67	-0.68	-0.48	-0.40	-0.86	-0.73	-1.76	-0.62	-0.44
110	-0.82	-0.69	-0.46	-0.68	-0.67	-0.48	-0.34	-0.81	-0.69	-1.45	-0.64	-0.48
115	-0.88	-0.66	-0.46	-0.73	-0.67	-0.49	-0.30	-0.78	-0.63	-1.28	-0.54	-0.44
120	-0.96	-0.73	-0.45	-0.79	-0.71	-0.49	-0.36	-0.85	-0.64	-1.19	-0.60	-0.41
125	-1.01	-0.71	-0.44	-0.83	-0.76	-0.49	-0.33	-1.01	-0.70	-1.13	-0.68	-0.32
130	-0.99	-0.67	-0.41	-0.80	-0.73	-0.44	-0.08	-0.99	-0.68	-0.97	-0.48	-0.24
135	-0.91	-0.64	-0.44	-0.76	-0.69	-0.46	-0.01	-0.89	-0.68	-0.98	-0.34	-0.23
140	-0.91	-0.58	-0.44	-0.73	-0.64	-0.46	0.06	-0.79	-0.68	-0.95	-0.28	-0.26
145	-1.02	-0.55	-0.45	-0.77	-0.64	-0.49	0.09	-0.76	-0.72	-0.92	-0.29	-0.31
150	-1.09	-0.57	-0.47	-0.81	-0.66	-0.50	0.10	-0.75	-0.73	-0.89	-0.28	-0.31
155	-1.06	-0.59	-0.50	-0.79	-0.66	-0.52	0.15	-0.74	-0.68	-0.83	-0.30	-0.32
160	-1.06	-0.60	-0.50	-0.79	-0.64	-0.52	0.05	-0.65	-0.60	-0.72	-0.38	-0.41

165	-0.88	-0.66	-0.54	-0.69	-0.64	-0.54	0.05	-0.66	-0.65	-0.51	-0.38	-0.28
170	-0.78	-0.54	-0.66	-0.72	-0.62	-0.50	0.19	-0.70	-0.64	-0.35	-0.39	-0.14
175	-0.58	-0.45	-0.72	-0.62	-0.60	-0.51	0.00	-0.81	-0.59	-0.28	-0.47	0.03
180	-0.52	-0.37	-0.65	-0.57	-0.52	-0.47	-0.05	-0.68	-0.55	-0.22	-0.38	-0.05
185	-0.51	-0.30	-0.54	-0.48	-0.42	-0.43	0.01	-0.48	-0.47	-0.15	-0.26	-0.03
190	-0.53	-0.26	-0.42	-0.42	-0.37	-0.39	0.12	-0.40	-0.41	-0.04	-0.23	-0.09
195	-0.47	-0.22	-0.43	-0.40	-0.35	-0.39	0.13	-0.39	-0.41	-0.08	-0.17	-0.11
200	-0.56	-0.26	-0.52	-0.42	-0.40	-0.46	0.23	-0.46	-0.55	-0.06	-0.23	-0.20
205	-0.55	-0.28	-0.51	-0.41	-0.41	-0.47	0.20	-0.49	-0.59	-0.09	-0.30	-0.29
210	-0.51	-0.28	-0.47	-0.40	-0.40	-0.45	0.20	-0.48	-0.59	-0.20	-0.45	-0.47
215	-0.48	-0.31	-0.41	-0.35	-0.37	-0.40	0.29	-0.42	-0.48	-0.18	-0.40	-0.39
220	-0.41	-0.27	-0.38	-0.33	-0.34	-0.36	0.18	-0.39	-0.40	-0.20	-0.35	-0.31
225	-0.35	-0.36	-0.37	-0.19	-0.32	-0.38	-0.20	-0.34	-0.34	-0.31	-0.38	-0.32
230	-0.35	-0.34	-0.37	-0.23	-0.32	-0.37	-0.21	-0.34	-0.34	-0.25	-0.30	-0.23
235	-0.38	-0.40	-0.39	-0.18	-0.32	-0.34	-0.29	-0.37	-0.32	-0.34	-0.36	-0.33
240	-0.41	-0.45	-0.41	-0.15	-0.33	-0.34	-0.33	-0.38	-0.35	-0.43	-0.40	-0.36
245	-0.46	-0.52	-0.41	0.06	-0.29	-0.31	-0.31	-0.40	-0.38	-0.53	-0.42	-0.36
250	-0.42	-0.52	-0.33	0.06	-0.30	-0.32	-0.30	-0.41	-0.39	-0.56	-0.43	-0.37
255	-0.34	-0.59	-0.26	0.13	-0.31	-0.32	-0.29	-0.45	-0.44	-0.58	-0.46	-0.41
260	-0.33	-0.58	-0.25	0.25	-0.27	-0.29	-0.23	-0.44	-0.42	-0.59	-0.46	-0.41
265	-0.14	-0.82	-0.25	0.39	-0.29	-0.26	-0.23	-0.47	-0.47	-0.68	-0.50	-0.44
270	0.01	-0.95	-0.30	0.63	-0.24	-0.16	-0.27	-0.48	-0.50	-0.74	-0.49	-0.45
275	0.05	-0.98	-0.33	0.71	-0.20	-0.06	-0.32	-0.49	-0.55	-0.74	-0.52	-0.49
280	-0.22	-1.04	-0.41	0.77	-0.19	-0.01	-0.31	-0.50	-0.56	-0.74	-0.53	-0.49
285	-0.17	-1.21	-0.51	0.70	-0.26	-0.01	-0.33	-0.52	-0.59	-0.76	-0.57	-0.52
290	-0.04	-1.10	-0.53	0.79	-0.21	0.01	-0.42	-0.53	-0.63	-0.74	-0.59	-0.57
295	-0.07	-1.05	-0.58	0.81	-0.19	-0.01	-0.44	-0.53	-0.64	-0.76	-0.61	-0.58
300	-0.10	-0.98	-0.64	0.82	-0.19	-0.01	-0.47	-0.57	-0.68	-0.83	-0.65	-0.63
305	-0.20	-0.86	-0.66	0.80	-0.18	-0.01	-0.47	-0.65	-0.69	-0.86	-0.69	-0.65
310	-0.28	-0.66	-0.53	0.70	-0.14	0.08	-0.43	-0.67	-0.68	-0.86	-0.68	-0.63
315	-0.72	-0.74	-0.46	0.63	-0.24	0.09	-0.55	-0.94	-0.96	-1.07	-1.00	-0.87
320	-0.62	-0.61	-0.32	0.46	-0.23	0.16	-0.58	-0.92	-1.03	-0.99	-1.09	-0.95
325	-0.68	-0.57	-0.33	0.49	-0.20	0.19	-0.62	-0.91	-1.02	-0.99	-1.03	-0.96
330	-0.63	-0.50	-0.22	0.48	-0.16	0.25	-0.66	-0.88	-1.07	-1.01	-0.99	-0.98
335	-0.44	-0.50	-0.06	0.27	-0.18	0.30	-0.69	-0.80	-1.12	-0.94	-0.87	-0.98
340	-0.03	-0.37	0.07	0.14	-0.16	0.40	-0.69	-0.80	-1.16	-0.89	-0.82	-0.93
345	-0.15	-0.45	0.19	0.09	-0.17	0.50	-0.66	-0.82	-1.10	-0.84	-0.72	-0.85
350	-0.29	-0.67	-0.14	0.05	-0.23	0.51	-0.63	-0.83	-1.07	-0.79	-0.67	-0.81
355	-0.37	-0.69	0.00	-0.04	-0.26	0.53	-0.60	-0.83	-1.03	-0.74	-0.64	-0.75

Таблица В1. (продолжение) Значения $C_m = f(\beta, j)$ на покрытии входной группы между корпусами «А», «Б»

β , град.	Номера контрольных точек j (рис. 2.2.2)							
	9	10	11	12	13	114	15	16
0	-0.94	-0.67	-0.61	-0.69	-0.92	-1.07	-0.73	-0.54
5	-0.91	-0.79	-0.68	-0.66	-1.03	-1.18	-0.66	-0.53
10	-0.86	-0.77	-0.65	-0.59	-0.94	-1.19	-0.61	-0.54
15	-0.79	-0.69	-0.61	-0.52	-0.78	-1.08	-0.55	-0.54
20	-0.70	-0.67	-0.61	-0.43	-0.70	-1.00	-0.50	-0.52
25	-0.58	-0.61	-0.60	-0.31	-0.54	-0.76	-0.54	-0.41
30	-0.62	-0.47	-0.55	-0.15	-0.42	-0.40	-0.42	-0.34
35	-0.66	-0.48	-0.57	-0.27	-0.45	-0.53	-0.37	-0.33
40	-0.69	-0.65	-0.68	-0.52	-0.52	-0.52	-0.54	-0.35
45	-0.55	-0.80	-0.84	-1.10	-0.74	-0.86	-1.09	-0.65
50	-0.69	-0.82	-0.83	-1.02	-0.82	-0.87	-0.92	-0.37
55	-0.89	-0.84	-0.85	-1.00	-0.83	-0.92	-0.72	-0.04
60	-0.98	-0.82	-0.81	-1.02	-0.78	-1.17	-0.44	0.07
65	-0.97	-0.81	-0.71	-1.10	-0.59	-1.11	-0.44	0.13
70	-0.91	-0.85	-0.56	-0.86	-0.48	-0.77	-0.36	0.28
75	-0.94	-0.93	-0.47	-0.59	-0.34	-0.45	-0.35	0.37
80	-1.08	-1.15	-0.50	-0.13	-0.17	-0.20	-0.05	0.32
85	-0.94	-1.71	-0.69	-0.58	-0.27	-0.51	-0.53	0.47
90	-0.85	-1.61	-0.58	-0.35	-0.14	-0.39	-0.37	0.48
95	-0.83	-1.74	-0.44	-0.29	-0.20	-0.48	-0.35	0.45
100	-0.79	-1.83	-0.48	-0.33	-0.25	-0.52	-0.30	0.46
105	-0.73	-1.76	-0.62	-0.44	-0.34	-0.51	-0.15	0.41
110	-0.69	-1.45	-0.64	-0.48	-0.46	-0.54	-0.19	0.40
115	-0.63	-1.28	-0.54	-0.44	-0.46	-0.43	-0.28	0.29
120	-0.64	-1.19	-0.60	-0.41	-0.53	-0.57	-0.28	0.37
125	-0.70	-1.13	-0.68	-0.32	-0.74	-0.61	-0.29	0.46
130	-0.68	-0.97	-0.48	-0.24	-0.62	-0.69	-0.29	0.70
135	-0.68	-0.98	-0.34	-0.23	-0.44	-0.69	-0.43	0.72
140	-0.68	-0.95	-0.28	-0.26	-0.61	-0.73	-0.47	0.78
145	-0.72	-0.92	-0.29	-0.31	-0.81	-0.77	-0.38	0.85
150	-0.73	-0.89	-0.28	-0.31	-0.75	-0.68	-0.32	0.82
155	-0.68	-0.83	-0.30	-0.32	-0.75	-0.60	-0.35	0.79
160	-0.60	-0.72	-0.38	-0.41	-0.31	-0.49	-0.40	0.17
165	-0.65	-0.51	-0.38	-0.28	-0.20	-0.40	-0.15	-0.11
170	-0.64	-0.35	-0.39	-0.14	-0.28	-0.49	-0.02	-0.42
175	-0.59	-0.28	-0.47	0.03	-0.40	-0.61	0.06	-0.59
180	-0.55	-0.22	-0.38	-0.05	-0.41	-0.53	-0.07	-0.54
185	-0.47	-0.15	-0.26	-0.03	-0.39	-0.45	-0.06	-0.53
190	-0.41	-0.04	-0.23	-0.09	-0.38	-0.45	-0.10	-0.45
195	-0.41	-0.08	-0.17	-0.11	-0.21	-0.18	-0.25	-0.29

200	-0.55	-0.06	-0.23	-0.20	-0.14	-0.13	-0.16	-0.28
205	-0.59	-0.09	-0.30	-0.29	-0.15	-0.17	-0.23	-0.29
210	-0.59	-0.20	-0.45	-0.47	-0.16	-0.19	-0.34	-0.31
215	-0.48	-0.18	-0.40	-0.39	-0.15	-0.06	-0.26	-0.35
220	-0.40	-0.20	-0.35	-0.31	-0.12	0.02	-0.27	-0.36
225	-0.34	-0.31	-0.38	-0.32	-0.26	-0.25	-0.20	-0.37
230	-0.34	-0.25	-0.30	-0.23	-0.30	-0.19	-0.22	-0.39
235	-0.32	-0.34	-0.36	-0.33	-0.36	-0.25	-0.32	-0.39
240	-0.35	-0.43	-0.40	-0.36	-0.43	-0.33	-0.36	-0.49
245	-0.38	-0.53	-0.42	-0.36	-0.53	-0.39	-0.41	-0.49
250	-0.39	-0.56	-0.43	-0.37	-0.58	-0.44	-0.45	-0.46
255	-0.44	-0.58	-0.46	-0.41	-0.62	-0.47	-0.47	-0.46
260	-0.42	-0.59	-0.46	-0.41	-0.64	-0.51	-0.50	-0.48
265	-0.47	-0.68	-0.50	-0.44	-0.76	-0.57	-0.50	-0.50
270	-0.50	-0.74	-0.49	-0.45	-0.86	-0.55	-0.48	-0.51
275	-0.55	-0.74	-0.52	-0.49	-0.78	-0.56	-0.48	-0.45
280	-0.56	-0.74	-0.53	-0.49	-0.74	-0.56	-0.48	-0.40
285	-0.59	-0.76	-0.57	-0.52	-0.75	-0.63	-0.53	-0.39
290	-0.63	-0.74	-0.59	-0.57	-0.63	-0.73	-0.70	-0.37
295	-0.64	-0.76	-0.61	-0.58	-0.66	-0.80	-0.78	-0.33
300	-0.68	-0.83	-0.65	-0.63	-0.76	-0.89	-0.85	-0.34
305	-0.69	-0.86	-0.69	-0.65	-0.83	-0.99	-0.96	-0.34
310	-0.68	-0.86	-0.68	-0.63	-0.93	-0.98	-0.91	-0.35
315	-0.96	-1.07	-1.00	-0.87	-1.10	-1.01	-0.85	-0.72
320	-1.03	-0.99	-1.09	-0.95	-1.00	-1.20	-0.92	-0.80
325	-1.02	-0.99	-1.03	-0.96	-1.06	-1.25	-0.93	-0.81
330	-1.07	-1.01	-0.99	-0.98	-1.15	-1.19	-0.94	-0.82
335	-1.12	-0.94	-0.87	-0.98	-1.09	-1.10	-0.94	-0.82
340	-1.16	-0.89	-0.82	-0.93	-1.01	-1.08	-0.93	-0.81
345	-1.10	-0.84	-0.72	-0.85	-0.96	-1.11	-0.89	-0.77
350	-1.07	-0.79	-0.67	-0.81	-0.96	-1.11	-0.85	-0.70
355	-1.03	-0.74	-0.64	-0.75	-0.95	-1.10	-0.80	-0.63

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Характеристики снегоотложений (приложение к разделу 2.3)

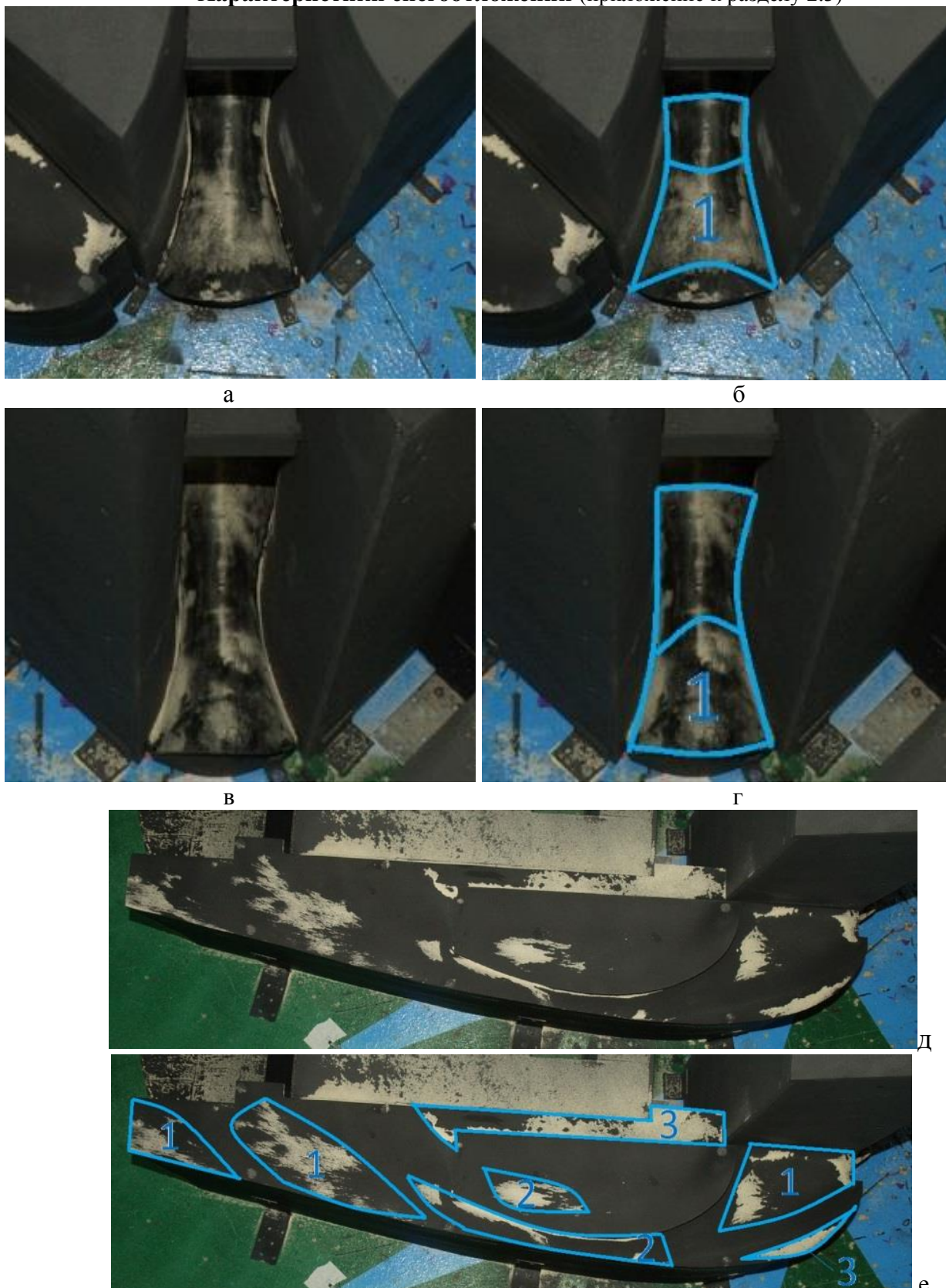


Рис. Г1 Виды конечных распределений (а, в, д) при $\beta=0^\circ$, $V=6$ м/с;
результаты определения критерия μ :
б) – 1 – $\mu \approx 0.25-0.5$, г) – 1 – $\mu \approx 0.25-0.5$, е) – 1 – $\mu \approx 0.25-0.5$, 2 – $\mu \approx 0.5-0.75$, 3 – $\mu \approx 0.75-1$

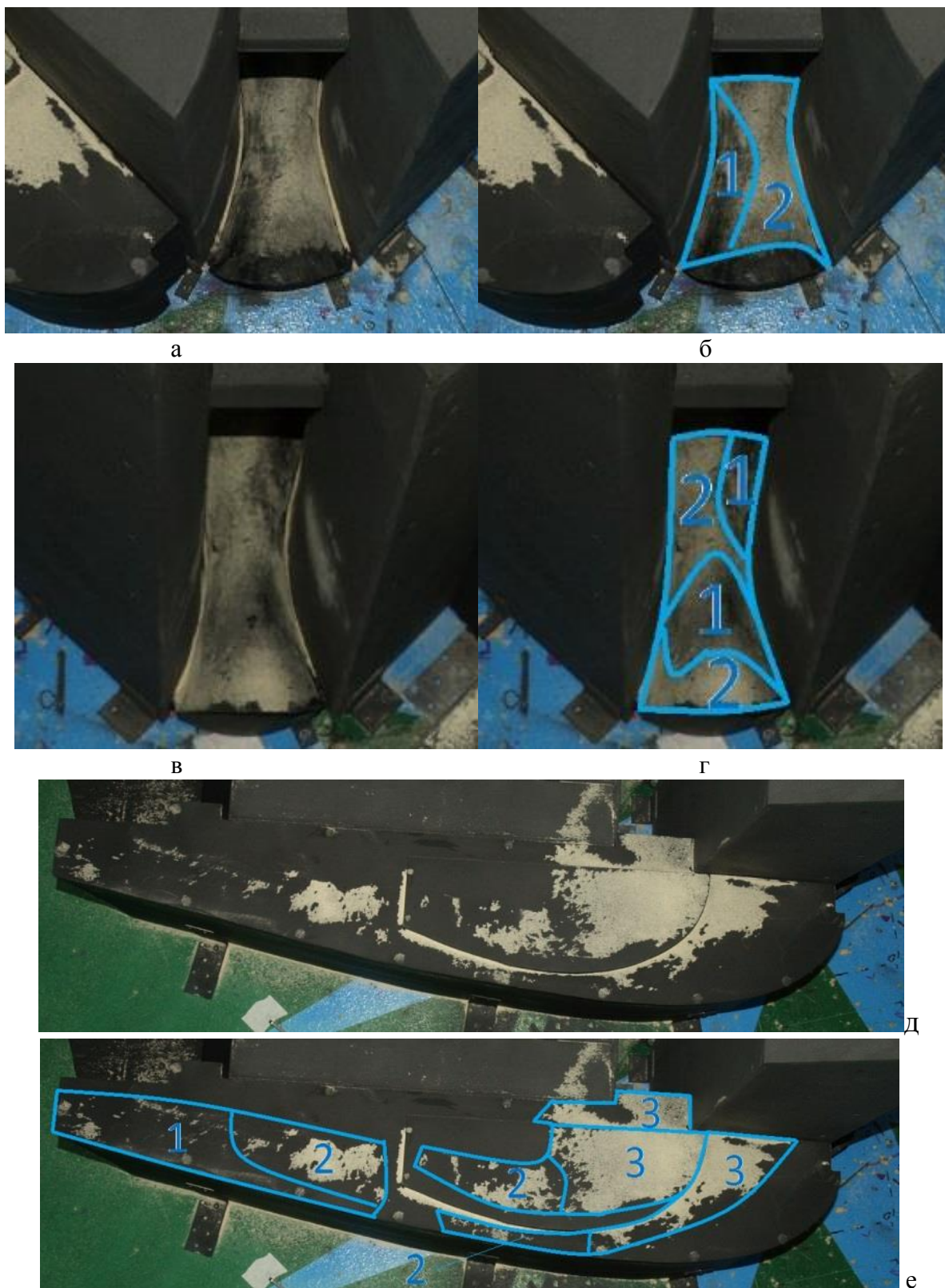


Рис. 7.2 Виды конечных распределений (а, в, д) при $\beta=45^\circ$, $V=6$ м/с;
 результаты определения критерия μ :
 б) – 1 – $\mu \approx 0.25-0.5$, 2 – $\mu \approx 0.5-0.75$, г) – 1 – $\mu \approx 0.25-0.5$, 2 – $\mu \approx 0.5-0.75$,
 е) – 1 – $\mu \approx 0.25-0.5$, 2 – $\mu \approx 0.5-0.75$, 3 – $\mu \approx 0.75-1$

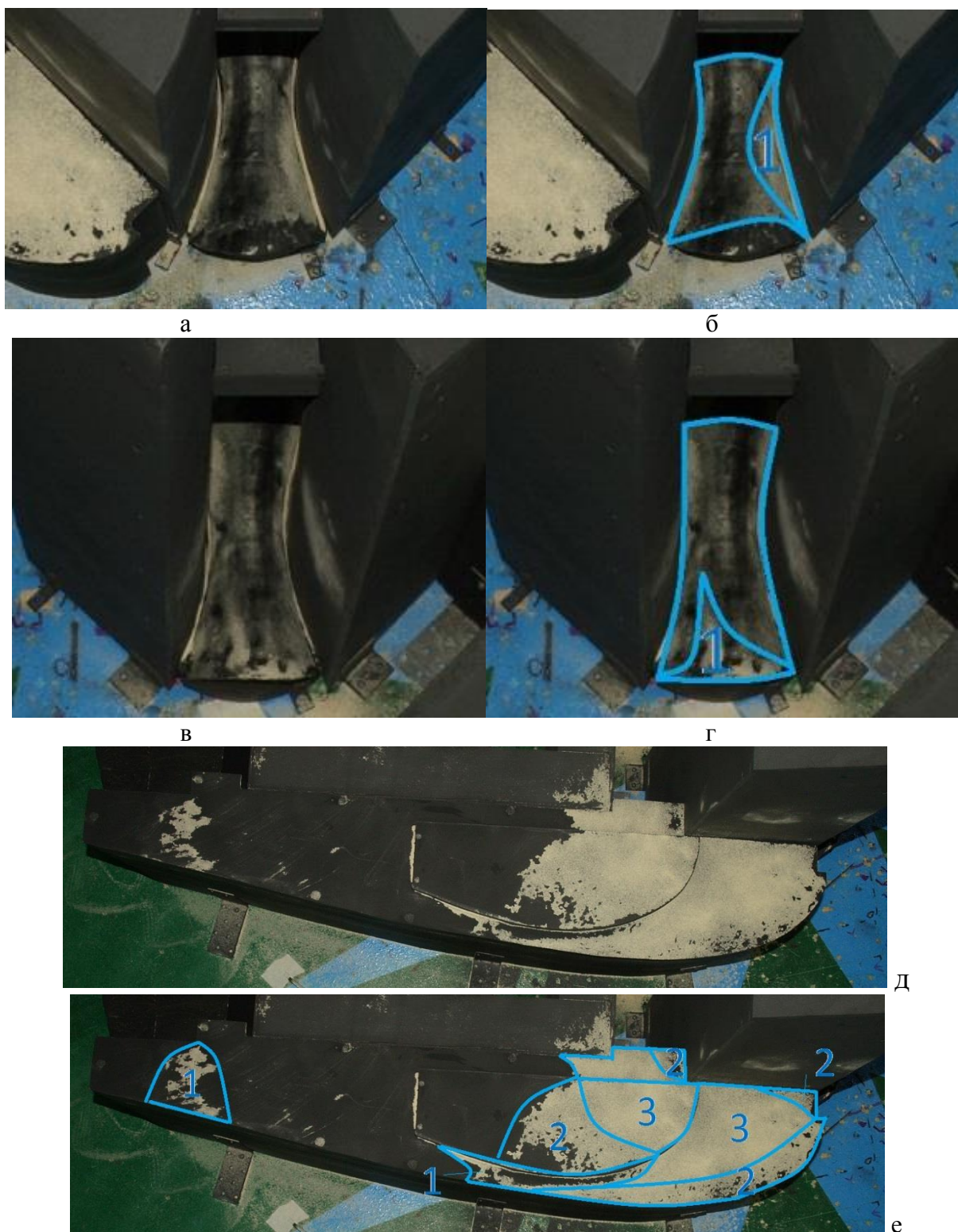


Рис. Г3 Виды конечных распределений (а, в, д) при $\beta=90^\circ$, $V=6$ м/с;
 результаты определения критерия μ :
 б) – 1 – $\mu \approx 0.25-0.5$, г) – 1 – $\mu \approx 0.25-0.5$, е) – 1 – $\mu \approx 0.25-0.5$, 2 – $\mu \approx 0.5-0.75$, 3 – $\mu \approx 1-1.25$

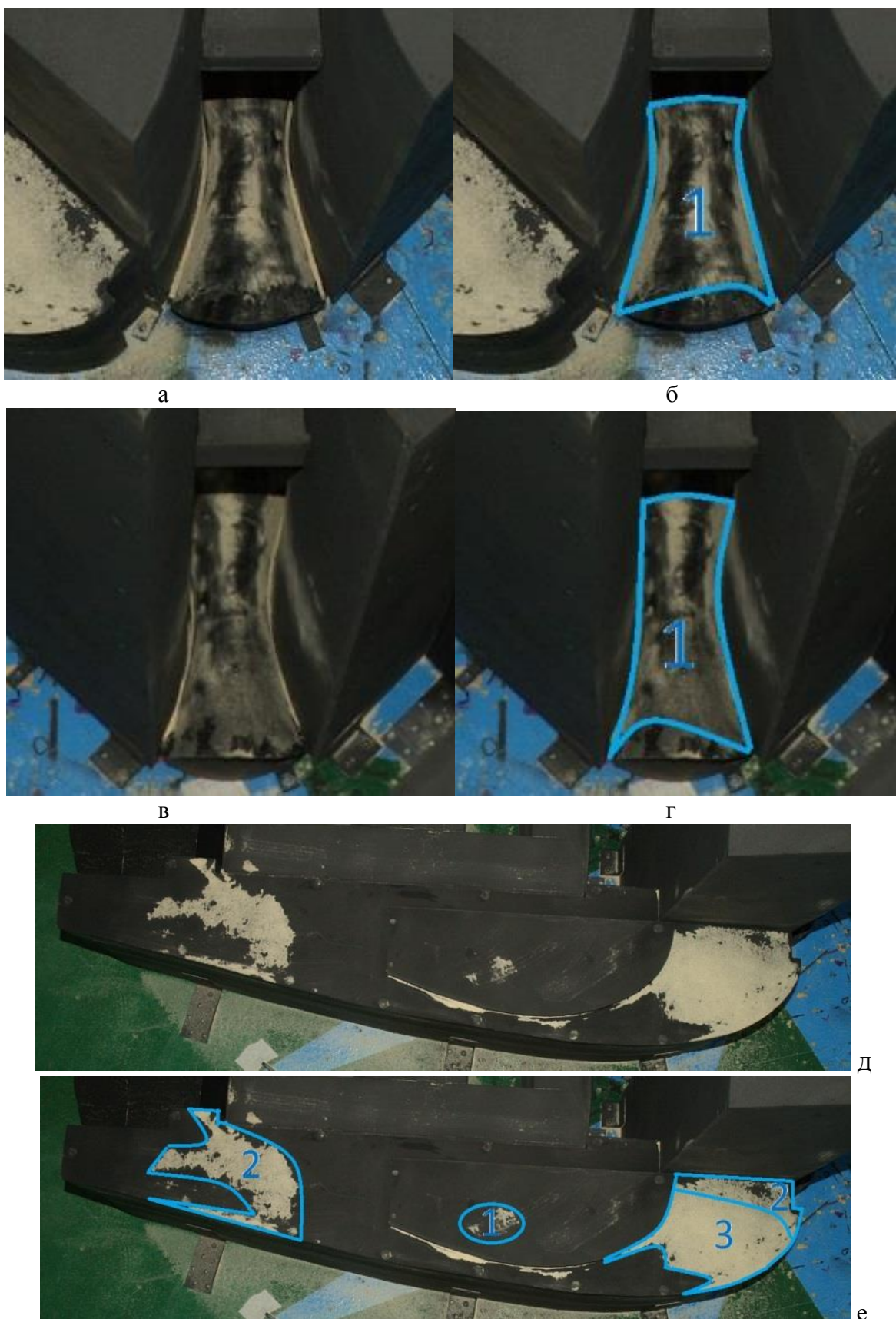


Рис. Г4 Виды конечных распределений (а, в, д) при $\beta=135^\circ$, $V=6$ м/с;
 результаты определения критерия μ :
 б) – 1 – $\mu \approx 0.25-0.5$, г) – 1 – $\mu \approx 0.25-0.5$, е) – 1 – $\mu \approx 0.25-0.5$, 2 – $\mu \approx 0.5-0.75$, 3 – $\mu \approx 0.75-1$

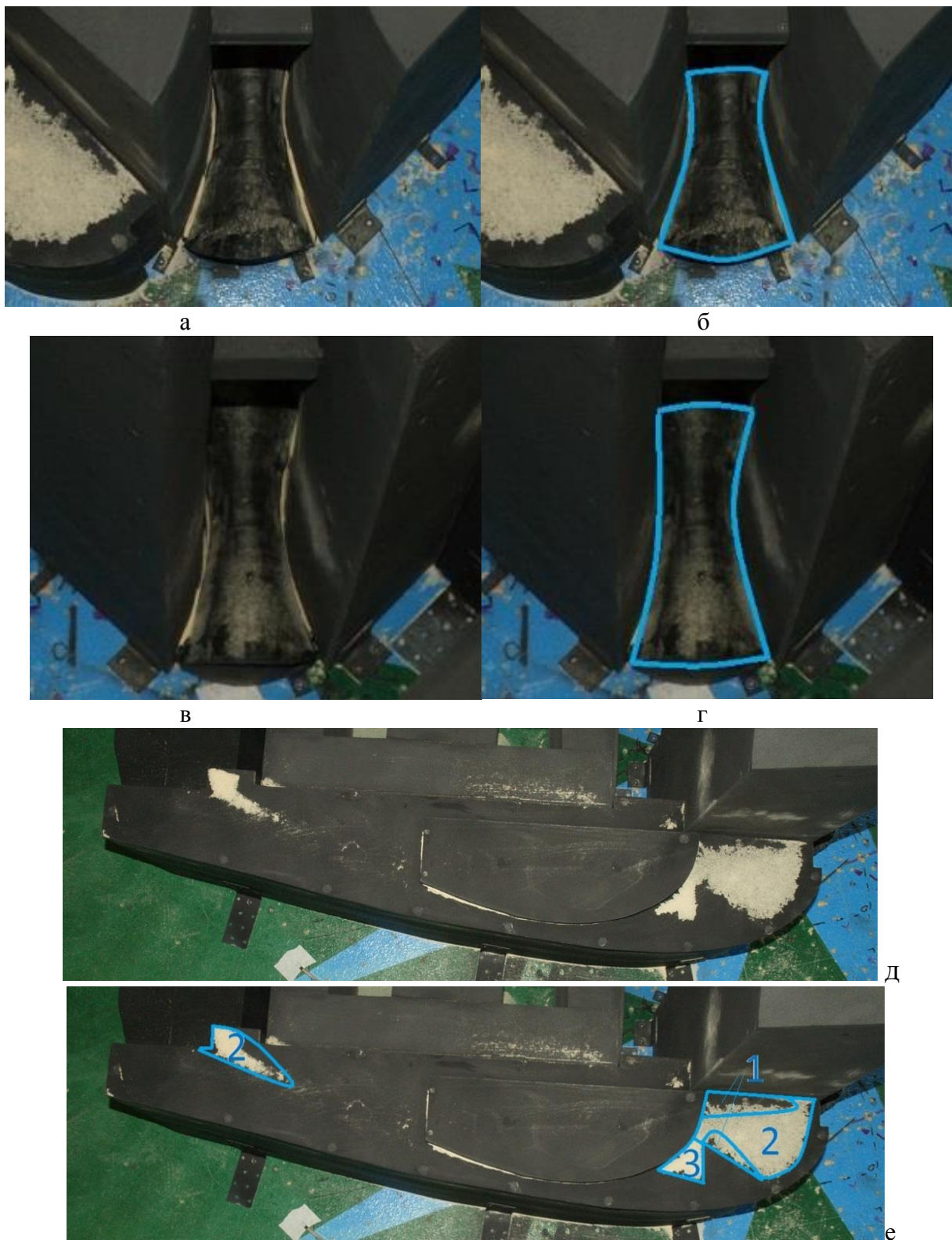


Рис. 75 а), в), д) – виды конечных распределений при $\beta=180^\circ$, $V=6$ м/с,
 результаты определения критерия μ :
 б) – области с $\mu \geq 0.25$ отсутствуют, г) – области с $\mu \geq 0.25$ отсутствуют, е) – 1 – $\mu \approx 0.25-0.5$, 2 –
 $\mu \approx 0.5-0.75$, 3 – $\mu \approx 1-1.25$

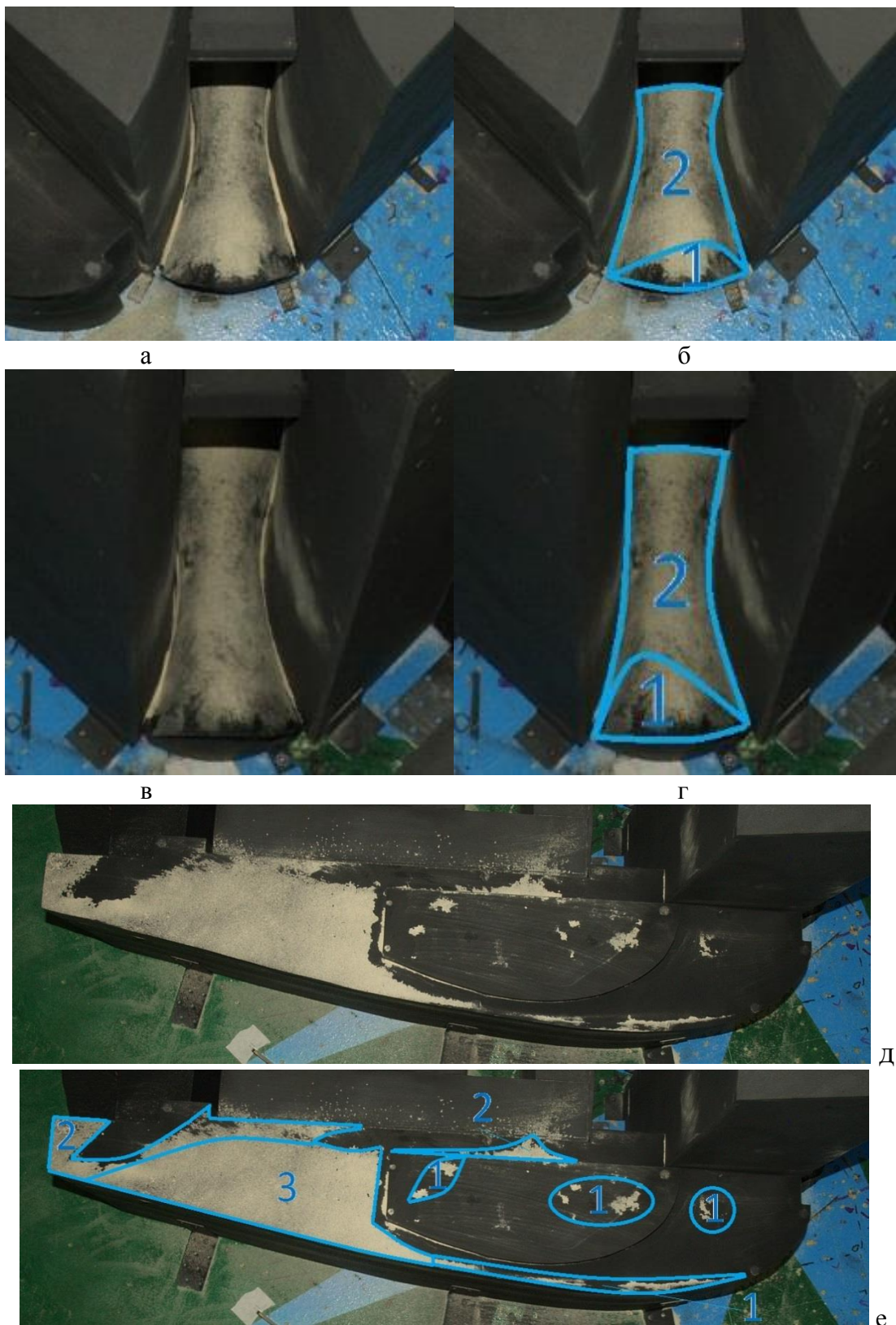


Рис. 7.6 а), в), д) –виды конечных распределений при $\beta=225^\circ$, $V=6$ м/с,
 результаты определения критерия μ :
 б) – 1 – $\mu \approx 0.25-0.5$, 2 – $\mu \approx 0.75-1$, г) – 1 – $\mu \approx 0.25-0.5$, 2 – $\mu \approx 0.75-1$, е) – 1 – $\mu \approx 0.25-0.5$, 2 – $\mu \approx 0.5-0.75$, 3 – $\mu \approx 0.75-1$

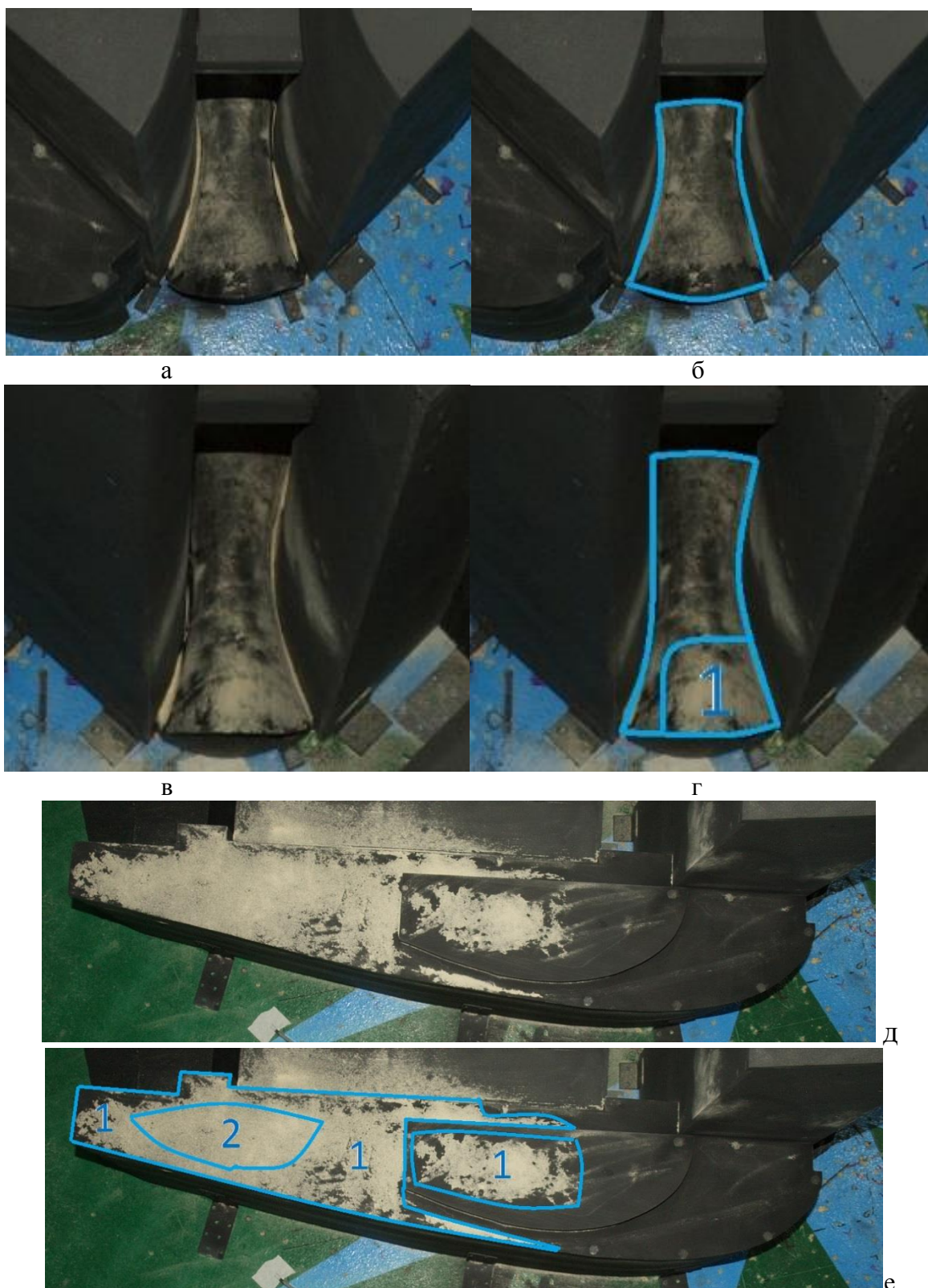


Рис. Г7 а), в), д) – виды конечных распределений при $\beta=270^\circ$, $V=6$ м/с, результаты определения критерия μ :
 б) – области с $\mu \geq 0.25$ отсутствуют, г) – 1 – $\mu \approx 0.25-0.5$, е) – 1 – $\mu \approx 0.5-0.75$, 2 – $\mu \approx 0.75-1$

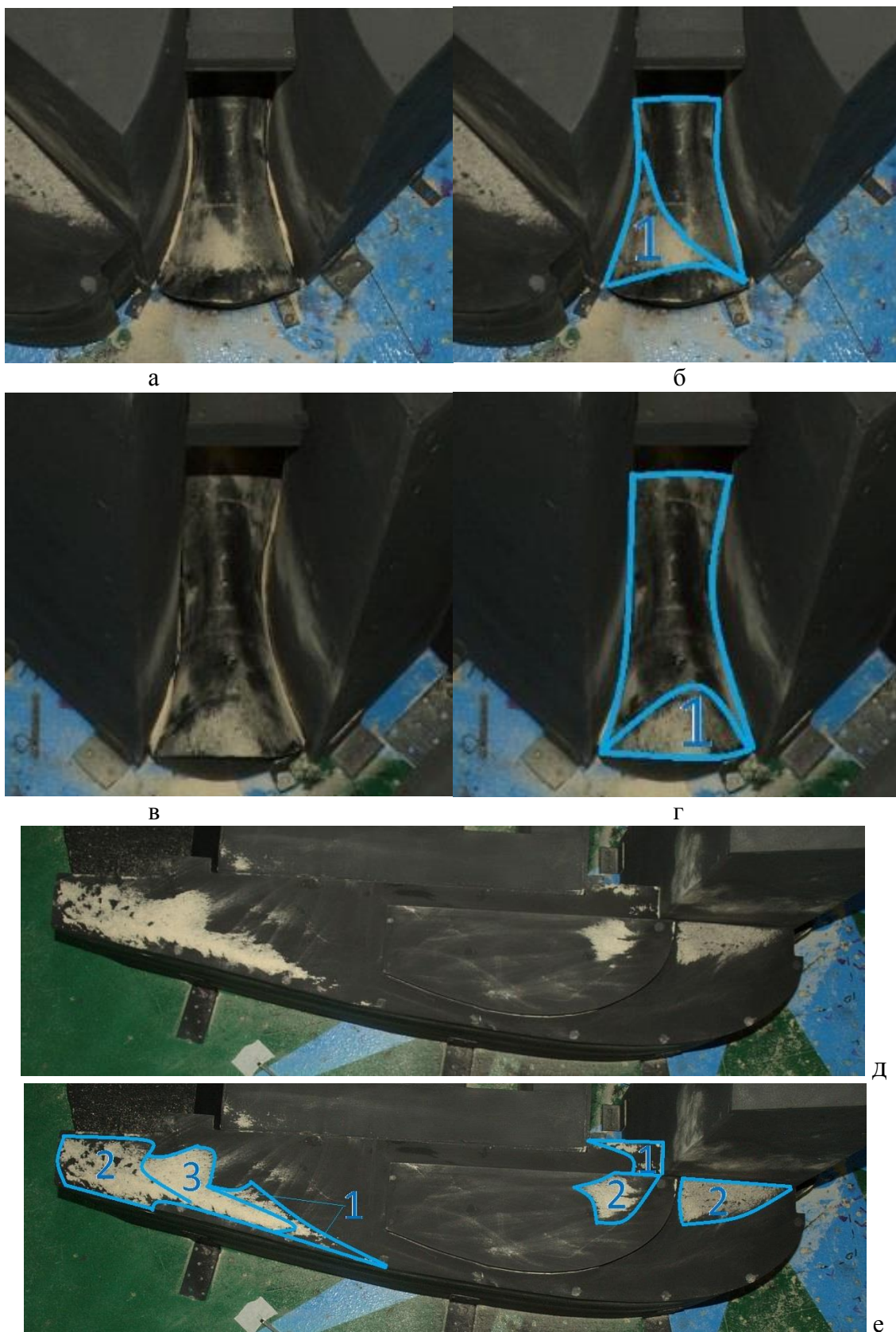


Рис. 8 а), в), д) – виды конечных распределений при $\beta=315^\circ$, $V=6$ м/с, результаты определения критерия μ :
 б) – 1 – $\mu \approx 0.25-0.5$, г) – 1 – $\mu \approx 0.25-0.5$, е) – 1 – $\mu \approx 0.25-0.5$, 2 – $\mu \approx 0.5-0.75$, 3 – $\mu \approx 0.75-1$