***Исходные данные:***

***1. Местоположение объекта и характеристики элементов облицовки:***

*Место строительства: г. Москва (пос. Барвиха);*

*Толщина панели: t = 30 мм;*

*Плотность панели из камня: 2700 кг/м3;*

*Зазор между облицовочными панелями горизонтальный и вертикальный: 2 мм;*

***1.1. Участок фасада с вертикальной плоскостью:***

*Направляющая вертикальная основная: LF-15 (ALUCOM). Шаг не более 900мм;*

*Кронштейн: ALK 75 (ALUCOM). Вертикальный шаг не более 650мм;*

*Горизонтальные направляющие GN-01 и GN-02 (ALUCOM). Шаг не более 350мм;*

***1.2. Участок фасада с наклонной плоскостью (угол наклона 62° во внутрь):***

*Направляющая вертикальная основная: GK-17 (ALUCOM). Шаг не более 900мм;*

*Кронштейн: ALK-75 (ALK 135 / ALK 215)*  *(ALUCOM). Вертикальный шаг не более 650мм;*

*Горизонтальные направляющие GN-01 и GN-02 (ALUCOM). Шаг не более 350мм;*

***1.3. Участок фасада с наклонной плоскостью (угол наклона 42° наружу):***

*Направляющая вертикальная основная: GK-17 (ALUCOM). Шаг не более 900мм;*

*Кронштейн: ALK-75 (ALK 135 / ALK 215)*  *(ALUCOM). Вертикальный шаг не более 650мм;*

*Горизонтальные направляющие GN-01 и GN-02 (ALUCOM). Шаг не более 350мм;*

***2. Ветровые нагрузки***

*При проектировании элементов ограждения и узлов их крепления необходимо учитывать положительное (w+) и отрицательное (w-) воздействия ветровой нагрузки, каждое из которых определяется как сумма их средних и пульсационных составляющих. Воздействия w+ и w- соответствуют положительным и отрицательным значениям аэродинамических коэффициентов давления ср.*

*Для каждого конструктивного элемента ограждения в качестве расчетной ветровой нагрузки принимается ее значение (нагрузка w+ или w-), реализующее наиболее неблагоприятный вариант нагружения. Воздействия ветра w+ и w-, действующие на высоте z, определяются по формуле*

*где w0=0,23 кПа - нормативное значение давления ветра, для I ветрового района(по.*

*СП.13330.2016);*

*и -* *коэффициенты, учитывающие, соответственно, изменение давления и пульсаций давления ветра на высоте (табл. 1 и 2);*

*- эквивалентная высота;*

*- пиковые значения аэродинамических коэффициентов положительного давления (+) или отсоса (-):*

*- для угловых зон здания равных 0,1 длины наименьшей из примыкающих к углу стен*

*здания но не менее 1,5 метров и не более cp =-2,0.*

*- для наветренной стены здания cp = + 1,0;*

*- для заветренной стороны здания cp= – 1,1;*

*ν+(-) - коэффициенты корреляции ветровой нагрузки, соответствующие положительному*

*давлению (+) и отсосу (-); значения этих коэффициентов приведены в таблице №3 в*

*зависимости от площади ограждения А, с которой собирается ветровая нагрузка;*

*γf - коэффициент надежности по ветровой нагрузке равный 1,4.*

*Таблица 1. Значения коэффициента kz(z) для местностей типов местности А и В.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Высота Ze , м* | *Коэффициент kz для типов местности* | |
| *А* | *В* |
| *≤5* | *0,75* | *0,5* |
| *10* | *1,0* | *0,65* |
| *20* | *1,25* | *0,85* |

*Таблица 2. Значения коэффициента для местностей типов местности А и В.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Высота Ze , м* | *Коэффициент пульсаций давления ветра для типов местности* | |
| *А* | *В* |
| *≤5* | *0,85* | *1,22* |
| *10* | *0,76* | *1,06* |
| *20* | *0,69* | *0,92* |

*Таблица 3. Значения коэффициентов v+ и v-.*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *Площадь ограждения, А, м2* | *<2* | *5* | *10* | *>20* |
| *Положительное давление, v+* | *1,0* | *0,9* | *0,8* | *0,75* |
| *Отсос, v-* | *1,0* | *0,85* | *0,75* | *0,65* |

*Выполним расчет ветровых нагрузок на примере здания высотой 10 м, шириной 19,25 м.*

*Воздействие ветра на отметке 10 м в угловой зоне составит:*

*(115.2 кгс/м2) (угловая зона);*

*(58.12 кгс/м2) (наветренная сторона);*

*(63.22 кгс/м2) (подветренная сторона).*

*Результаты расчетов по всем высотам сводим в таблицу №4.*

*Таблица №4. Расчет ветровых нагрузок в кгс/м2 по всем высотам.*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *Расчетные формулы* | *Высота z, м* | | |
| *<5* | *10* | *15* |
| *(угловая зона)* | *90,75* | *115,2* | *127,5* |
| *(наветренная сторона)* | *45,38* | *58,12* | *63,75* |
| *(подветренная сторона)* | *49,91* | *63,22* | *70,13* |

***3. Нагрузка от обледенения***

*Нагрузка от обледенения фасадных конструкции следует принимать по фактическим данным для соответствующей местности. В случае отсутствия таких данных и при прогнозировании возможности образования наледи величину нагрузки определяют в соответствии с CП 20.13330.2016 по формуле:*

*где: b-толщина стенки гололеда, мм (табл.12.1 и карта 3 приложения Е СП 20.13330.2016);*

*k-коэффициент, учитывающий изменение толщины стенки гололеда по высоте и принимаемый по табл. 12.3 СП 20.13330.2016;*

*-коэффициент, учитывающий отношение площади поверхности элемента, подверженной обледенению, к полной площади поверхности элемента и принимаемый равным 0,6;*

*-плотность льда, принимаемая равной 0,9 г/см3;*

*g- ускорение свободного падения, м/с2.*

*Табл. 12.1 СП 20.13330.2016*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Гололедные районы (принимаются по карте 3 прил. Е)* | *I* | *II* | *III* | *IV* | *V* |
| *Толщина стенки гололеда b, мм* | *Не менее 3* | *5* | *10* | *15* | *Не менее 20* |

*Коэффициент надежности по гололедной нагрузке принимается (п. 12.5 СП 20.13330.2016).*

*Результаты расчетов нагрузки от обледенения для II гололедного района на всех высотах сводим в таблицу 5.*

*Таблица № 5. Расчет нагрузки от обледенения.*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *Высота над поверхностью земли* | *5* | *10* | *15* |
| *Коэффициент k* | *0,8* | *1* | *1,1* |
| *Расчетная нагрузка от*  *Обледенения* | *2,159* | *4,86* | *5,35* |

***4. Нагрузки от собственного веса конструкции***

***4.1. Панель из натурального камня***

*где* ***=*** *81 кгс/м2 – вес плиты облицовки.*

*- коэффициент надежности по нагрузке (МДС 20-1.2006).*

*.*

***4.2. Собственный вес горизонтальных направляющих GN-01 и GN-02 (ALUCOM)***

*где*  ***=*** *342,07 мм2 = 3,421 см2 – площадь поперечного сечения профилей GN01 и GN02;*

*г/см3 – плотность алюминиевых сплавов;*

*- коэффициент надежности для металлических конструкций*

***4.3. Собственный вес вертикальных направляющих LF-15 и GK-17 (ALUCOM)***

***5.1. Расчет участка фасада с вертикальной плоскостью***

***5.1.1. Проверка горизонтальной направляющей на прогиб***

*Расчетные схемы горизонтальных профилей – трехпролетная неразрезная балка с консолями. По высоте направляющие расположены в количестве 3-х штук на панель. Пролеты равны шагу вертикальных направляющих. Горизонтальный профиль воспринимает изгибающую нагрузку от собственного веса, веса облицовочного материала и равномерно распределенные горизонтальные ветровые нагрузки.*

*Расчетная ветровая нагрузка в угловой зоне:*

*q =W × a*

*где: W – Расчетное значение ветровой нагрузки;*

*a – шаг направляющих.*

*q = 125·0.35=43.75 кгс/м = 0.4475 кгс/см.*

*Изгибающий момент в середине пролета от действия ветровой нагрузки*

*где: q – расчетная ветровая нагрузка;*

*L – пролет между опорами направляющей.*

*По формуле строительной механике прогиб направляющей составит:*

*где: L - пролет между опорами направляющей;*

*Е – модуль упругости алюминия 0,71·106 кгс/см2 (табл. 2 СниП 2.03.06-85);*

*Jy* - *момент инерции направляющей 12789,1 мм4;*

*Mпр* - *изгибающий момент в середине пролета от действия ветровой нагрузки;*

*gn* - *коэффициент надежности по назначению по СниП 2.01.07-85.*

*.*

*Проверку жесткости направляющей под действием ветровой нагрузки в рядовой зоне не производим т.к. в угловой зоне нагрузки больше, и следовательно в рядовой зоне образуется больший запас прочности и жесткости конструкций.*

***Вывод: Сечение направляющих GN удовлетворяет проверке на жесткость.***

***5.1.2. Проверка горизонтальной направляющей на прочность***

*Предел текучести алюминиевого сплава 6060Т66 – 160МПа (16320 тс/м2).*

*Изгибающий момент в опорном участке от действия веса камня и собственного веса нгаправляющей:*

*,*

*где*

*Нормальное напряжение, возникающее в сечении горизонтальной направляющей GN:*

***Вывод: Сечение направляющих GN удовлетворяет проверке на прочность.***

***5.1.3. Проверка вертикальной направляющей на прогиб***

*Рассмотрим, худший вариант для вертикальной направляющей: ветровая нагрузка действует в виде сосредоточенной нагрузки (передача от горизонтальной направляющей GN) в середине пролета между опорами.*

*Р = W × a × в*

*где: W – Расчетное значение ветровой нагрузки;*

*a – шаг вертикальных направляющих.*

*в – шаг опор вертикальных направляющих.*

*P = 125·0.9·0.65 = 73.13 кгс.*

*По формуле строительной механике прогиб направляющей составит:*

*где: L - пролет между опорами направляющей;*

*Е – модуль упругости алюминия 0,71·106 кгс/см2 (табл. 2 СниП 2.03.06-85);*

*Jy* - *момент инерции направляющей 1.818 см4;*

*.*

***Вывод: Сечение вертикальной направляющей FL-15 удовлетворяет проверке на жесткость.***

***5.1.4. Проверка вертикальной направляющей на прочность***

*Предел текучести алюминиевого сплава 6060Т66 – 160МПа (16320 тс/м2).*

*Изгибающий момент в опорном участке от действия давления ветра:*

*,*

*Изгибающий момент от веса облицовки:*

*, где*

*— расстояние от центра тяжести сечения облицного камня до центра тяжести сечения направляющей.*

*Продольное усилие от веса облицовки и направляющей:*

*Нормальное напряжение, возникающее в сечении вертикальной направляющей LF-15:*

***Вывод: Сечение вертикальных направляющих LF-15 удовлетворяет проверке на прочность.***

***5.2. Расчет участка фасада с наклонной плоскостью 620 во внутрь***

***5.2.1. Проверка горизонтальной направляющей на прогиб***

*Расчетная перпендикулярная к плоскости фасада нагрузка в угловой зоне:*

*q =(W⋅cos62 + Q⋅sin62) × a*

*где: W – Расчетное значение ветровой нагрузки;*

*Q – Расчетное значение веса облицовочных панелей;*

*a – шаг направляющих.*

*q = (125·cos62 + 97.2·sin62)·0.35 = 50.58 кгс/м = 0.5058 кгс/см.*

*Изгибающий момент в опорной части от действия перпендикулярной к плоскости фасада нагрузки*

*где: q – расчетная нагрузка;*

*L – пролет между опорами направляющей.*

*По формуле строительной механике прогиб направляющей составит:*

*где: L - пролет между опорами направляющей;*

*Е – модуль упругости алюминия 0,71·106 кгс/см2 (табл. 2 СниП 2.03.06-85);*

*Jy* - *момент инерции направляющей 12789,1 мм4;*

*Mпр* - *изгибающий момент в середине пролета от действия ветровой нагрузки;*

*gn* - *коэффициент надежности по назначению по СниП 2.01.07-85.*

*.*

*Проверку жесткости направляющей под действием ветровой нагрузки в рядовой зоне не производим т.к. в угловой зоне нагрузки больше, и следовательно в рядовой зоне образуется больший запас прочности и жесткости конструкций.*

***Вывод: Сечение направляющих GN удовлетворяет проверке на жесткость.***

***5.2.2. Проверка горизонтальной направляющей на прочность***

*Предел текучести алюминиевого сплава 6060Т66 – 160МПа (16320 тс/м2).*

*Изгибающий момент в опорном участке от действия веса камня и собственного веса направляющей вдоль плоскости фасада:*

*,*

*где*

*Нормальное напряжение, возникающее в сечении горизонтальной направляющей GN:*

***Вывод: Сечение направляющих GN удовлетворяет проверке на прочность.***

***5.2.3. Проверка вертикальной направляющей на прогиб***

*Рассмотрим, худший вариант для вертикальной направляющей: ветровая нагрузка действует в виде сосредоточенной (передача от горизонтальной направляющей) в середине пролета между опорами.*

*Р = (W⋅cos62 + Q⋅sin62) × a × в*

*где: W – Расчетное значение ветровой нагрузки;*

*Q – Расчетное значение веса облицовочных панелей;*

*a – шаг вертикальных направляющих.*

*в – шаг опор вертикальных направляющих.*

*P = (125⋅cos62+97.2⋅sin62)·0.9·0.65 = 84.54 кгс.*

*По формуле строительной механике прогиб направляющей составит:*

*где: L - пролет между опорами направляющей;*

*Е – модуль упругости алюминия 0,71·106 кгс/см2 (табл. 2 СниП 2.03.06-85);*

*Jy* - *момент инерции направляющей 5.297 см4;*

*.*

***Вывод: Сечение вертикальных направляющих GK-17 удовлетворяет проверке на жесткость.***

***5.2.4. Проверка вертикальной направляющей на прочность***

*Предел текучести алюминиевого сплава 6060Т66 – 160МПа (16320 тс/м2).*

*Изгибающий момент в опорном участке от действия давления ветра:*

*,*

*Продольное усилие от веса облицовки и направляющей:*

*Нормальное напряжение, возникающее в сечении вертикальной направляющей LF-15:*

***Вывод: Сечение вертикальных направляющих GK-17 удовлетворяет проверке на прочность.***

***5.3. Расчет участка фасада с наклонной плоскостью 420 наружу***

***5.3.1. Проверка горизонтальной направляющей на прогиб***

*Расчетная перпендикулярная к плоскости фасада нагрузка в угловой зоне:*

*q = |(-W⋅sin42 - Q⋅cos42) × a|*

*где: W – Расчетное значение ветровой нагрузки;*

*Q – Расчетное значение веса облицовочных панелей;*

*a – шаг направляющих.*

*q = (125·sin42 + 97.2·cos42)·0.35 = 54.56 кгс/м = 0.5456 кгс/см.*

*Изгибающий момент в опорной части от действия перпендикулярной к плоскости фасада нагрузки*

*где: q – расчетная нагрузка;*

*L – пролет между опорами направляющей.*

*По формуле строительной механике прогиб направляющей составит:*

*где: L - пролет между опорами направляющей;*

*Е – модуль упругости алюминия 0,71·106 кгс/см2 (табл. 2 СниП 2.03.06-85);*

*Jy* - *момент инерции направляющей 12789,1 мм4;*

*Mпр* - *изгибающий момент в середине пролета от действия ветровой нагрузки;*

*gn* - *коэффициент надежности по назначению по СниП 2.01.07-85.*

*.*

*Проверку жесткости направляющей под действием ветровой нагрузки в рядовой зоне не производим т.к. в угловой зоне нагрузки больше, и следовательно в рядовой зоне образуется больший запас прочности и жесткости конструкций.*

***Вывод: Сечение направляющих GN удовлетворяет проверке на жесткость.***

***5.3.2. Проверка горизонтальной направляющей на прочность***

*Предел текучести алюминиевого сплава 6060Т66 – 160МПа (16320 тс/м2).*

*Изгибающий момент в опорном участке от действия веса камня и собственного веса направляющей вдоль плоскости фасада:*

*,*

*где*

*Нормальное напряжение, возникающее в сечении горизонтальной направляющей GN:*

***Вывод: Сечение направляющих GN удовлетворяет проверке на прочность.***

***5.3.3. Проверка вертикальной направляющей на прогиб***

*Рассмотрим, худший вариант для вертикальной направляющей: ветровая нагрузка действует в виде сосредоточенной (передача от горизонтальной направляющей) в середине пролета между опорами.*

*Р = (W⋅sin42 + Q⋅cos42) × a × в*

*где: W – Расчетное значение ветровой нагрузки;*

*Q – Расчетное значение веса облицовочных панелей;*

*a – шаг вертикальных направляющих.*

*в – шаг опор вертикальных направляющих.*

*P = (125⋅sin42+97.2⋅cos42)·0.9·0.65 = 91.19 кгс.*

*По формуле строительной механике прогиб направляющей составит:*

*где: L - пролет между опорами направляющей;*

*Е – модуль упругости алюминия 0,71·106 кгс/см2 (табл. 2 СниП 2.03.06-85);*

*Jy* - *момент инерции направляющей 5.297 см4;*

*.*

***Вывод: Сечение вертикальных направляющих GK-17 удовлетворяет проверке на жесткость.***

***5.3.4. Проверка вертикальной направляющей на прочность***

*Предел текучести алюминиевого сплава 6060Т66 – 160МПа (16320 тс/м2).*

*Изгибающий момент в опорном участке от действия давления ветра:*

*,*

*Продольное усилие от веса облицовки и направляющей:*

*Нормальное напряжение, возникающее в сечении вертикальной направляющей LF-15:*

***Вывод: Сечение вертикальных направляющих GK-17 удовлетворяет проверке на прочность.***

***5.4. Расчет консольного участка горизонтальной направляющей GN***

*Рассмотрим случай наклонного фасада наружу на 420, как наихудший вариант из рассматриваемых.*

*Расчетная, перпендикулярная к плоскости фасада, нагрузка в угловой зоне:*

*q = |(-W⋅sin42 - Q⋅cos42) × a|*

*где: W – Расчетное значение ветровой нагрузки;*

*Q – Расчетное значение веса облицовочных панелей;*

*a – шаг направляющих.*

*q = (125·sin42 + 97.2·cos42)·0.35 = 54.56 кгс/м = 0.5456 кгс/см.*

*По формуле строительной механике прогиб направляющей составит:*

*где: L - длина консольной части направляющей;*

*Е – модуль упругости алюминия 0,71·106 кгс/см2 (табл. 2 СниП 2.03.06-85);*

*Jy* - *момент инерции направляющей 12789,1 мм4;*

*Проверку жесткости направляющей под действием ветровой нагрузки в рядовой зоне не производим т.к. в угловой зоне нагрузки больше, и следовательно в рядовой зоне образуется больший запас прочности и жесткости конструкций.*

***Вывод: Сечение направляющих GN удовлетворяет проверке на жесткость.***

*Предел текучести алюминиевого сплава 6060Т66 – 160МПа (16320 тс/м2).*

*Изгибающий момент в опорном участке от действия веса камня и давления ветра направленный перпендикулярно плоскости фасада:*

*Изгибающий момент в опорном участке от действия веса камня и собственного веса направляющей вдоль плоскости фасада:*

*где*

*Нормальное напряжение, возникающее в сечении горизонтальной направляющей GN:*

***Вывод: Сечение направляющих GN удовлетворяет проверке на прочность.***

***Общий вывод: Принятые в проекте шаг горизонтальных направляющих GN не более 350мм, шаг вертикальных направляющих GK-17 (LF-15) не более 900мм, шаг кронштейнов не более 650мм удовлетворяют условиям прочности и прогибов. Несущая способность консольной части (200мм) горизонтальных направляющих GN – обеспечена.***

******

***Инженер-конструктор Миненко Я.И.***