

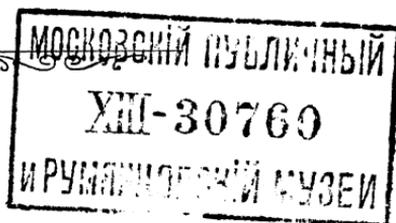
Ижж. Н. Рыжикъ.

КЪ ВОПРОСУ

О

ДАВЛЕНІИ ВѢТРА НА ЗДАНІЯ.

(Результаты опытовъ, произведенныхъ въ аэромеханической лабораторіи Института Инженеровъ Путей Сообщенія Императора Александра I).



С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Тип. Т-ва п. ф. „Эл.-Тип. Н. Я. Стойковой“. Знаменская, 27.
1913.



2007112238

Къ вопросу о давлении вѣтра на зданія.

(Результаты опытовъ, произведенныхъ въ аэромеханической лабораторіи Института Инженеровъ Путей Сообщенія Императора Александра I).

Содержаніе.

Существующія въ Россіи нормы для расчета зданій на давленіе вѣтра.—Общая постановка опытовъ для опредѣленія давленія вѣтра на модели зданій.—Аэродинамическіе и гидродинамическіе спектры потока, обтекающаго модели.—Опредѣленіе равнодѣйствующей силы вѣтра, дѣйствующаго на зданія и крыши.—Распределеніе давленій вѣтра по поверхности зданія.—Результаты опытовъ.

I. Существующія въ Россіи нормы для расчета зданій на давленіе вѣтра.

Появленіе настоящей работы вызвано желаніемъ по возможности выяснитъ вопросъ, насколько отвѣчаютъ дѣйствительности существующіе способы расчета различныхъ сооружений на давленіе вѣтра.

При расчетѣ и проектированіи намп различныхъ покрытій гражданскихъ сооружений, мостовъ, дымовыхъ трубъ и т. п., пришлось невольно обратить вниманіе на произвольность существующихъ способовъ расчета сооружений на силы вѣтра.

Для выясненія этого вопроса нами еще лѣтъ восемь тому назадъ было предпринято изслѣдованіе источниковъ, которые могли послужить причиною появленія таковыхъ способовъ.

Эти источники, главнымъ образомъ спекулятивнаго характера, еще болѣе убѣдили насъ въ произвольности принятыхъ способовъ расчета, и для рѣшенія вопроса представлялось необходимымъ произвести рядъ опытовъ по извѣстному плану. Однако отсутствіе въ нашемъ распоряженіи подходящихъ лабораторій препятствовало этой работѣ.

На необходимость таковыхъ опытовъ указывали еще датскій инженеръ Ирмингеръ (въ 1895 г.) и англійскій инженеръ Стантонъ (въ 1903 г.). Оба они произвели въ этомъ направленіи рядъ опытовъ. Однако поставленная ими задача была рѣшена лишь отчасти. Многое еще нуждалось въ провѣркѣ и въ дополненіи и не былъ затронутъ рядъ существенныхъ вопросовъ.

Изложеніе ихъ работъ, литературу предмета и подробное описаніе произведенныхъ нами опытовъ можно найти въ специальномъ сочиненіи нашемъ „Давленіе вѣтра на зданія“, которое въ настоящее время печатается.

Разсмотримъ основныя нормы, установленныя въ Россіи для расчета зданій и крышъ на давленіе вѣтра.

Обычно примѣняемая въ Россіи формула для опредѣленія давленія вѣтра на 1 кв. метръ площади крыши нормально къ ней:

$$P = 180 \sin^2 (\alpha + 10^\circ) \text{ кгр.} \dots \dots \dots (1)$$

здѣсь α —уголъ наклона крыши къ горизонту, а 10° —уголъ, подъ которымъ, какъ предполагають, долженъ дуть вѣтеръ къ горизонту.

При этомъ принимается, что дѣйствию вѣтра подвергаются лишь навѣтренныя части сооруженія. На подвѣтренной же части никакихъ силъ, возникающихъ при вѣтрѣ, въ расчетъ не принимается.

Однако, уже Ирмингеръ указалъ на несоотвѣтствіе этого послѣдняго предположенія дѣйствительности. Далѣе, опыты Стантона и Крокко подтвердили это указаніе.

Для болѣе подробнаго выясненія вопросовъ, относящихся къ давленію вѣтра на зданія, нами и былъ сдѣланъ рядъ опытовъ въ двухъ аэромеханическихъ лабораторіяхъ: сначала въ Спб. политехническомъ институтѣ, а затѣмъ, когда нами было закончено оборудованіе небольшой лабораторіи въ Институтѣ инж. п. с., то и въ этой послѣдней.

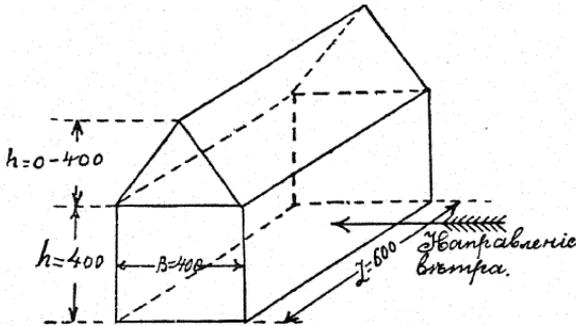
2. Общая постановка опытовъ для опредѣленія давленія вѣтра на модели зданій.

Аэродинамическіе и гидродинамическіе спектры потока, обтекающаго модели.

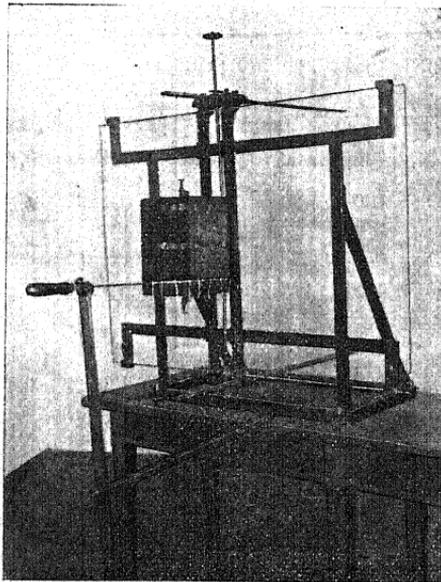
Опыты производились съ моделями домовъ и двускатныхъ крышъ (черт. 1), размѣры которыхъ приведены въ ниже слѣдующей таблицѣ:

Названіе модели.	№	Длина L мм.	Ширина B мм.	Высота h мм.	Уголъ α наклона ската къ гориз.	$\operatorname{tg} \alpha$	Отношеніе высоты крыши къ пролету. h: B.	Примѣчаніе.
Д о м ы.	2	600	400	400	—	—	—	
	3	150	100	50	—	—	—	
	4	150	100	100	—	—	—	
	5	100	100	100	—	—	—	
	6	300	200	200	—	—	—	
	7	150	100	150	—	—	—	
	8	150	150	100	—	—	—	
	Двускатныя крыши.	14	600	400	20	5°40'	0,1	0,05
15		600	400	40	11°	0,2	0,1	
16		600	400	60	16°20'	0,3	0,15	
17		600	400	80	21°40'	0,4	0,2	Безъ свѣсовъ.
18		600	400	120	30°40'	0,6	0,3	
19		600	400	160	38°40'	0,8	0,4	
20		600	400	200	45°	1,0	0,5	
21		600	400	240	50°12'	1,2	0,6	
22		150	100	15	16°20'	0,3	0,15	
25		100	100	15	16°20'	0,3	0,15	
26		300	200	30	16°20'	0,3	0,15	
16'	600	400	60	16°20'	0,3	0,15	Свѣсъ шири- ной 20 мм. вдоль длин- ныхъ сто- ронеъ зданія.	

Опыты производились при различныхъ скоростяхъ потока (при манометрическихъ давленіяхъ отъ 1 до 16 мм. водяного столба). Для измѣренія примѣнялись приборы: микроманометръ Шульце, манометръ Крелля, барометръ Фюсса и трубка Браббе. Силы измѣрялись чувствительными пружинными динамометрами, провѣренными до и послѣ опытовъ. Точность этихъ динамометровъ была въ 1 граммъ при измѣ-



Черт. 1.



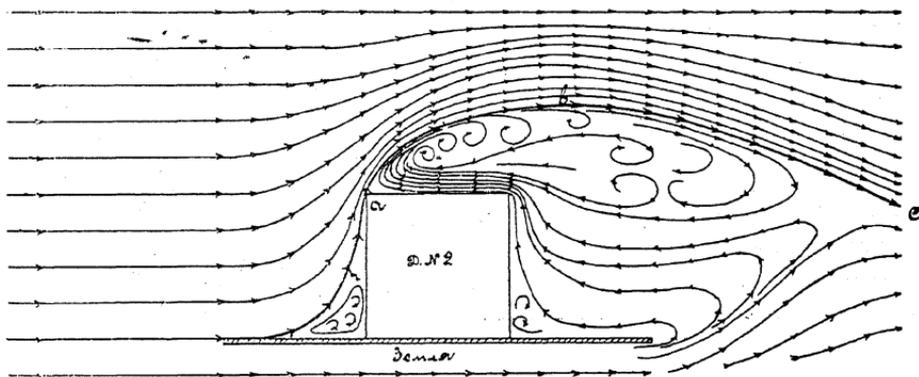
Черт. 2.

рениі до 200 граммовъ и въ 5 граммовъ при измѣрениі до 2.000 граммовъ.

Прежде всего были опредѣлены аэродинамическіе спектры, т. е. картины распредѣленія струй воздушнаго потока, обтекающаго модели зданій. Постановка опытовъ, произведенныхъ для этой цѣли, заключалась въ слѣдующемъ (черт. 2):

На особой станинѣ было укрѣплено толстое зеркальное стекло, посреди котораго со стороны, противоположной станинѣ, устанавливалась модель дома. Эта модель удерживалась двумя вертикальными винтами, укрѣпленными на станинѣ. Стекло играло роль земли и располагалось параллельно потоку воздуха.

Аэродинамическій спектръ
въ поперечномъ сѣченіи модели по средній ея длине.
Вдоль стержня $t=17^{\circ}\text{C}$; $\rho=133\%$ Давленіе $4,8\%$ вод. столба
abc - поверхность раздѣла.



Масштабъ длины.
1 10 20 30 40 сантимет.

Черт. 3.

Для опредѣленія направленія струй воздуха примѣнялся длинный тонкій стержень съ привязанными къ нему въ разныхъ мѣстахъ бумажками или шелковинками. Помѣщая этотъ стержень въ разныхъ мѣстахъ потока, можно было

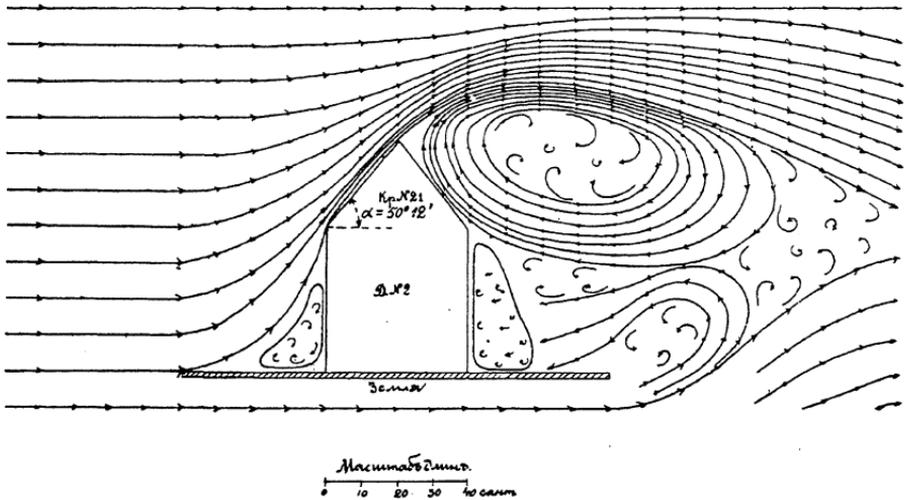
судить по направлению бумажек и шелковинок о направлении струй воздуха.

Такимъ способомъ нами было построено нѣсколько спектровъ. Мы помѣщаемъ три (черт. 3—5). На чертежѣ 4-мъ показана картина струй, обтекающихъ домъ съ двускатной крышей ($\alpha = 50^\circ 12'$) безъ карнизовъ. Вѣтеръ дуетъ слѣва. Струи сжимаются у навѣтренной стороны дома и крыши. У подвѣтренной же стороны образуется область пониженнаго давленія и рядъ вихрей.

Аэродинамическій спектр

въ поперечномъ сеченіи модели по среднему ее диаметру.

Вѣтеръ слѣва. $t = 20^\circ\text{C}$; $p = 759\text{ мм}$ Давленіе $4,5\text{ мм}$ вод. столба.



Черт. 4.

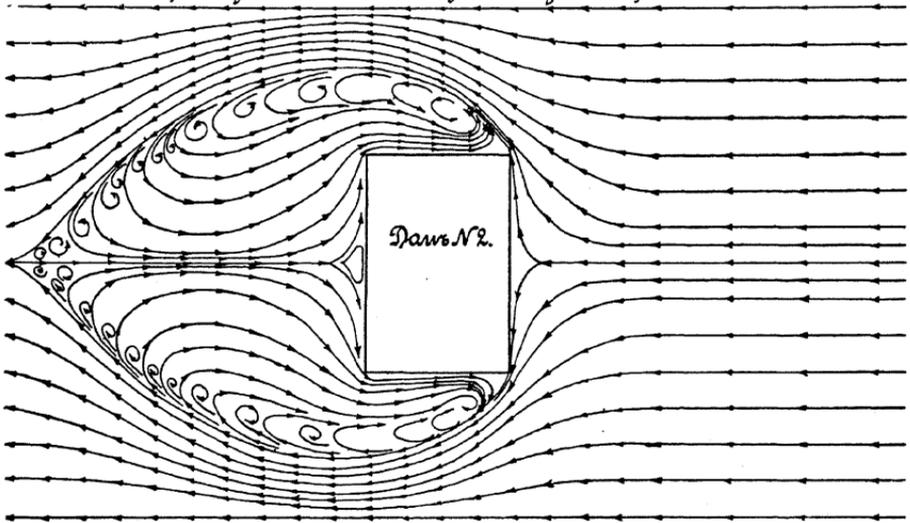
На чертежѣ 3-мъ показана картина распределенія струй воздуха для дома съ плоской крышей. Надъ верхомъ дома воздушныя струи сильно отклоняются, образуя область пониженнаго давленія. Довольно ясно выражена линія *ab* — раздѣла основнаго потока отъ завихреннаго пространства.

На чертежѣ 5-мъ показанъ аэродинамическій спектръ для того же дома, но въ планѣ—посрединѣ его высоты.

Для провѣрки правильности полученныхъ нами картинъ, мы погружали модель дома съ плоской крышей въ потокъ воды, на поверхность которой бросали отруби, и затѣмъ фотографировали картину обтекания модели потокомъ. На чертежѣ 6-мъ показана одна изъ полученныхъ фотографій, хорошо согласующаяся съ чертежомъ № 3-й въ отношеніи линіи раздѣла надъ домомъ (движеніе воды справа налѣво).

Аэродинамическій спектръ

въ сеченіи модели параллельномъ землѣ и проведенномъ по средней высотѣ прямоугольной части модели. Видъ со стороны неба.



Давленіе 4,8 мм водян. столба. $t = 17,5^{\circ}C$. $\rho^0 = 733 \frac{г}{см^3}$.

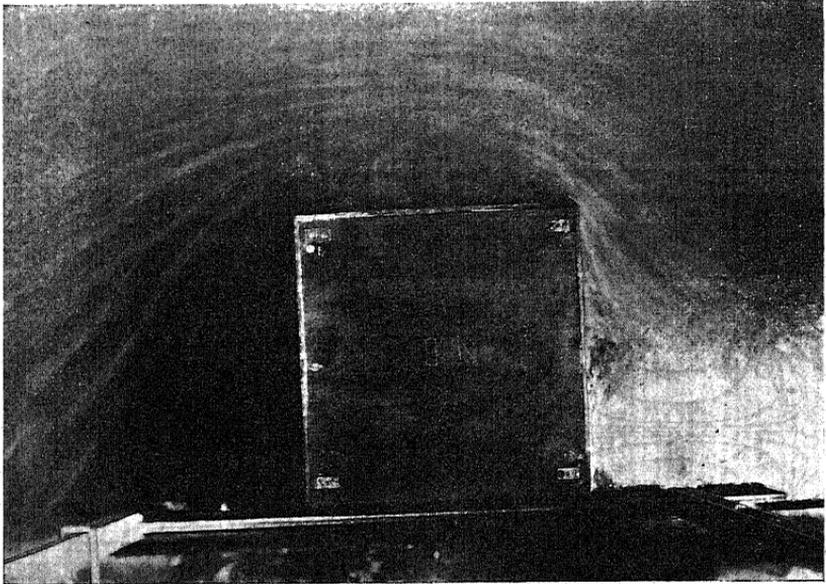
Масштабъ 2 см = 1 м

Черт. 5.

3. Опредѣленіе равнодѣйствующей силъ вѣтра, дѣйствующаго на модели зданій крыши.

Для того, чтобы опредѣлить величину, направленія и точку приложенія равнодѣйствующей R силъ вѣтра, дѣйствующихъ на модель, достаточно знать три момента ея относительно

трехъ не лежащихъ въ одной плоскости осей вращения этой модели. На черт. 7-мъ показано расположеніе проекціи этихъ осей (*a*, *b* и *c*) на торцахъ модели. Силы *P_a*, *P_b*, *P_c*, уравновѣшивающія силу *R*, измѣрялись пружинными динамометрами. Всѣ элементы равнодѣйствующей легко опредѣлить изъ 3-хъ ур—ий:



Черт. 6.

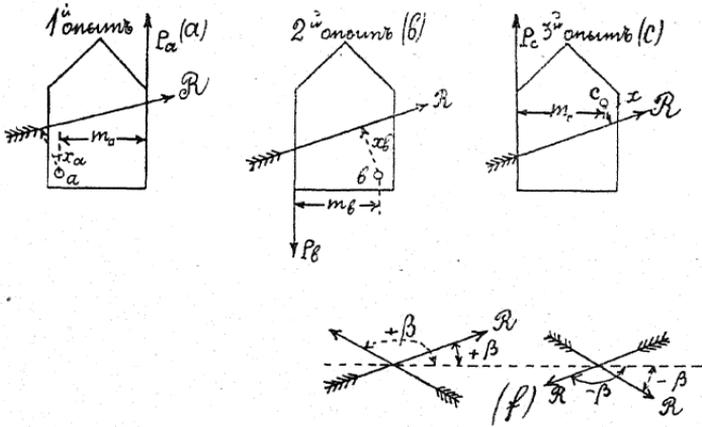
$$\left. \begin{aligned} P_a m_a &= R \cdot x_a \\ P_b m_b &= R \cdot x_b \\ P_c m_c &= R \cdot x_c \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2).$$

и на основаніи простыхъ геометрическихъ соображеній.

Углы, подъ которыми сила *R* была направлена къ горизонту, обозначались буквою β ; знакъ угла объясненъ на чертежѣ 7-мъ.

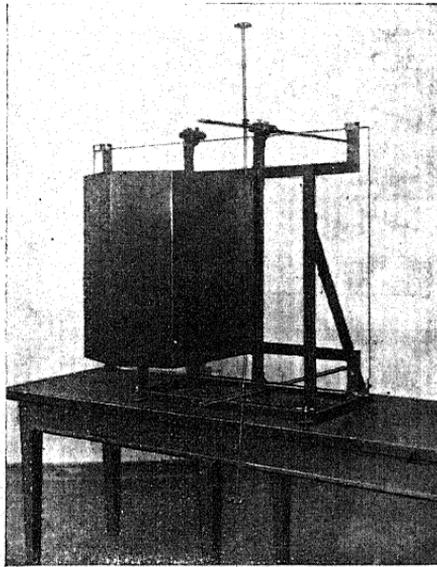
Приборъ, служившій для опытовъ, изображенъ на чертежѣ 8-мъ. Онъ состоялъ изъ массивнаго вертикальнаго зеркальнаго стекла, изображавшаго поверхность земли. Стекло

это располагалось параллельно потоку ветра и укреплялось на массивной станинѣ. Вдоль последней передвигалась пара



Черт. 7.

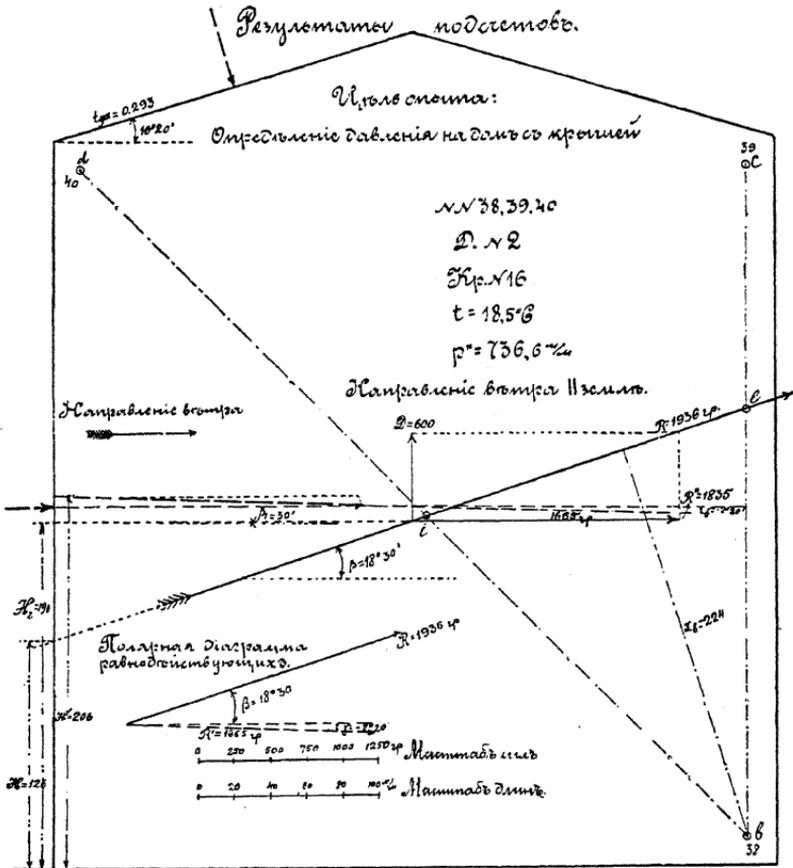
стальныхъ горизонтальныхъ стержней, въ которыхъ ввинчивались вертикальные стальные винты. Между концовъ по-



Черт. 8

слѣднихъ помещалась модель. Винты эти и служили осями вращенія модели.

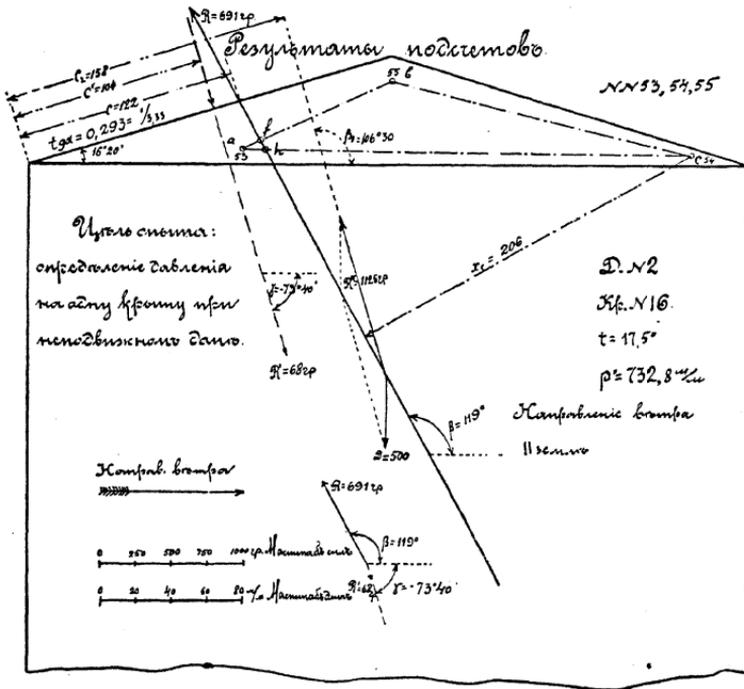
На чертежъ 9-мъ показаны, въ видѣ примѣра, полученные изъ опытовъ, величина и положеніе силы $R = 1.936$ граммовъ, дѣйствующей на модель дома съ крышею ($\alpha = 16^\circ 20'$). Для сравненія здѣсь же приведено значеніе той же силы



Черт. 9.

$R = 1.665$ граммовъ, на которую должна была бы рассчитываться та же модель по нормамъ русскихъ желѣзныхъ дорогъ; какъ видно изъ чертежа, разница между направленіями этихъ силъ достигаетъ 21° , а по величинѣ до 17%.

Еще болѣе рѣзкая расходимость показана на чертежѣ 10-мъ, гдѣ по даннымъ опыта равнодѣйствующая сила вѣтра, дѣйствующаго на одну крышу надъ домомъ, равна $R = 691$ грамм. и $\beta = 119^\circ$, а по нормамъ русск. желѣз. дорогъ $R' = 68$ гр. и $\beta = 73^\circ 40'$. Такимъ образомъ разница по величинѣ до-стигаетъ до 913%, а по направленію—192°.



Черт. 10.

4. Распределение давленій вѣтра по поверхности зданій.

Для выясненія вопроса, какъ распредѣляется давление вѣтра по поверхности модели зданія, нами были сдѣланы слѣдующіе опыты:

1. Определены давленія вѣтра по срединѣ длины одной модели дома съ крышей по поверхности стѣнъ и скатовъ крыши.

2. Определено давлєніє въ разныхъ точкахъ дна модели дома, т. е. между дномъ модели и стекломъ (При опытахъ модель не плотно прилегала къ стеклу).



Черт. 11.

3. Определено давлєніє въ разныхъ точкахъ въ промежуткѣ между домомъ и крышей (При опытахъ между домомъ и крышей оставался небольшой зазоръ).

Производство опытовъ заключалось въ слѣдующемъ (черт. 11). Въ точкѣ поверхности модели, гдѣ желательно было опредѣлить давлєніє, ввинчивалась заподлицо съ поверхностью мѣдная трубка. На нее, внутри модели, надѣвалась резиновая трубка, которая при посредствѣ небольшой выводной мѣдной трубки проводилась черезъ боковую стѣнку дома и шла далѣе къ манометру. Показаніє манометра и давало возможность судить о давлєніи въ данной точкѣ.

На черт. 12 показаны результаты опытовъ по опредѣленію давлєнія по срединѣ длины дома и у конца его для угла наклона крыши $16^{\circ} 40'$. Какъ видно изъ чертежа, навѣтренная стѣна испытываетъ прямая давлєнія, подвѣтренная же стѣна и оба ската крыши испытываютъ обратная давлєнія (подсасываніє) и стремятся выпучиться внаружу.

5. Результаты опытовъ.

На чертежѣ 13 и 14 приведены діаграммы, изображающія результаты опытовъ. На основаніи этихъ опытовъ можно вывести слѣдующія заключенія:

діаграммъ слѣдуетъ, что при горизонтальномъ дѣйствіи вѣтра, напримѣръ, *слѣва*:

А. На домъ съ крышей.

а) Если между домомъ и землею зазоръ имѣется, то при измѣненіи угловъ α наклона двускатной крыши къ горизонту отъ 0° до $16^\circ 20'$ уголъ наклона силы R къ горизонту увеличивается и сила R , будучи направлена вправо *вверхъ*, (чертежъ 14, а), мало измѣняется по величинѣ. При дальнѣйшемъ возрастаніи угла α сила R приближается къ горизонтали, становясь горизонтальной при углѣ α около 32° и далѣе наклоняется вправо *внизъ*, возрастая постепенно по величинѣ.

б) Если между домомъ и землею зазора нѣтъ, (черт. 14, б), то сила R при измѣненіи α отъ 0° до $16^\circ 20'$, постепенно уменьшается, достигая минимума при $\alpha = 16^\circ 20'$, далѣе же начинаетъ возрастать. При этомъ, при углахъ $\alpha = 16^\circ - 22^\circ$, она направлена вправо *вверхъ*, при другихъ же углахъ— *вправо внизъ*.

Б. На одну крышу.

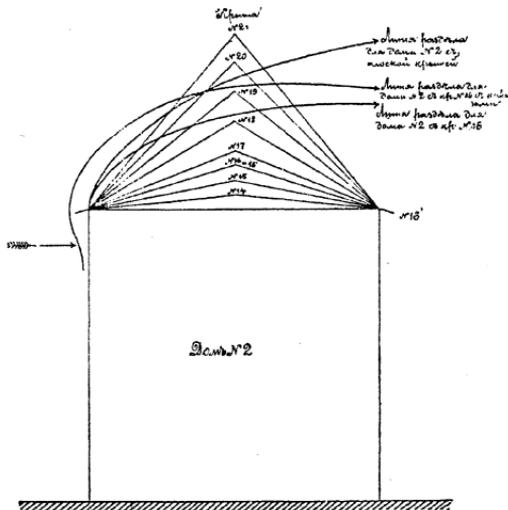
а) Если зазоръ между домомъ и крышей имѣется (черт. 13, а), то при возрастаніи угла α отъ 0° до $16^\circ 20'$, сила R увеличивается и направлена *влѣво вверхъ*. При дальнѣйшемъ возрастаніи угла α до 31° сила R направлена все время влѣво *вверхъ*, приближаясь къ вертикали и уменьшаясь по величинѣ. Далѣе до угла 33° сила R направлена вправо *вверхъ*. Наконецъ, при дальнѣйшемъ возрастаніи α сила R направлена вправо *внизъ*, постепенно возрастая по величинѣ и составляя все меньшій и меньшій уголъ съ горизонтомъ.

б) Если зазора между нѣтъ домомъ и крышей (черт. 13, в), то при увеличеніи угла α сила R вращается по движенію часовой стрѣлки, при чемъ до угла $\alpha = 31^\circ$ она направлена *влѣво вверхъ*, потомъ до угла 45° *вправо вверхъ* и далѣе *вправо внизъ*. Величина ея сначала увеличивается до угла $\alpha = 16^\circ 20'$, далѣе уменьшается до угла 39° и затѣмъ опять увеличивается.

5. Чѣмъ больше высота зданія, тѣмъ больше сила R и тѣмъ больше она наклонена къ горизонту.

6. Чѣмъ шире зданіе, тѣмъ больше сила R и тѣмъ круче она направлена къ горизонту.

7. Распредѣленіе силъ вѣтра на поверхности стѣнъ и крыши зависитъ отъ формы зданія и крыши и отъ угла наклона крыши. Для угла $\alpha = 16^\circ 40'$ ($\operatorname{tg} \alpha = 0,3$) прямое давленіе вѣтра наблюдается лишь на навѣтренной стѣнѣ дома, подвѣтренная же стѣна и оба ската крыши подвержены обратному давленію вѣтра.



Черт. 15.

8. Аэродинамическій спектръ съ его поверхностью раздѣла характеризуетъ положеніе, величину и направленіе силъ вѣтра, дѣйствующихъ на зданія и крыши.

9. Пока конекъ крыши находится ниже поверхности раздѣла (черт. 15), крыша испытываетъ сильное обратное давленіе изнутри внаружу. Напримѣръ, для угла наклона крыши $\alpha = 16^\circ 40'$ ($\operatorname{tg} \alpha = 0,3$), величина силы R дѣйствующей на крышу въ 8 разъ больше той, которая получается по

русскимъ нормамъ и направлена почти прямо противоположно ей.

Какъ только конекъ крыши располагается выше поверхности раздѣла, характеръ давленія на крышу мѣняется, навѣтренный скатъ начинаетъ испытывать прямыя давленія, а подвѣтренный—обратныя.

10. Результаты опытовъ показываютъ, что необходимо переработать существующія нормы для расчета сооружений на силы вѣтра.

Инженеръ *Н. Рыжикъ*.