



# ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ И ГОЛОЛЁДООБРАЗОВАНИЯ ПРОВОДОВ АСВП И АСВТ

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. Общие сведения о методике учета влияния ветрового давления при расчете воздушных линий в соответствие с нормативной документацией.....	3
2. Расчет изменения скорости потока ветра и ветрового напора вблизи проводов различной конструкции.....	12
3. Оценка влияния конструкции проволок на формирование гололедного покрытия.....	33

# 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТОДИКЕ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ ВЕТРОВОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ РАСЧЕТЕ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ В СООТВЕТСТВИИ С НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИЕЙ

При расчете воздушных линий (ВЛ) и их элементов должны учитываться климатические условия - ветровое давление, толщина стенки гололеда, температура воздуха, степень агрессивного воздействия окружающей среды, интенсивность грозовой деятельности, пляска проводов и тросов, вибрация.

В соответствии с ПУЭ-7 [1] определение расчетных условий по ветру должно производиться на основании соответствующей карты климатического районирования территории РФ (рис. 1) с уточнением при необходимости их параметров в сторону увеличения или уменьшения по региональным картам и материалам многолетних наблюдений гидрометеорологических станций и метеопостов за скоростью ветра. В малоизученных районах для этой цели могут организовываться специальные обследования и наблюдения. Основой для районирования по ветровому давлению служат значения максимальных скоростей ветра с 10-минутным интервалом осреднения скоростей на высоте 10 м с повторяемостью 1 раз в 25 лет. Ниже приведены основные требования ПУЭ-7 к методике расчета ветровой нагрузки.

При определении климатических условий должно быть учтено влияние на скорость ветра особенностей микрорельефа местности (небольшие холмы и котловины, высокие насыпи, овраги, балки и т.п.), а в горных районах - особенностей микро- и мезорельефа местности (гребни, склоны, платообразные участки, днища долин, межгорные долины и т.п.).

Значения максимальных ветровых давлений для ВЛ определяются на высоте 10 м над поверхностью земли с повторяемостью 1 раз в 25 лет (нормативные значения). Нормативное ветровое давление  $W_0$ , соответствующее 10-минутному интервалу осреднения скорости ветра ( $v_0$ ), на высоте 10 м над поверхностью земли принимается по табл. 1 [1] в

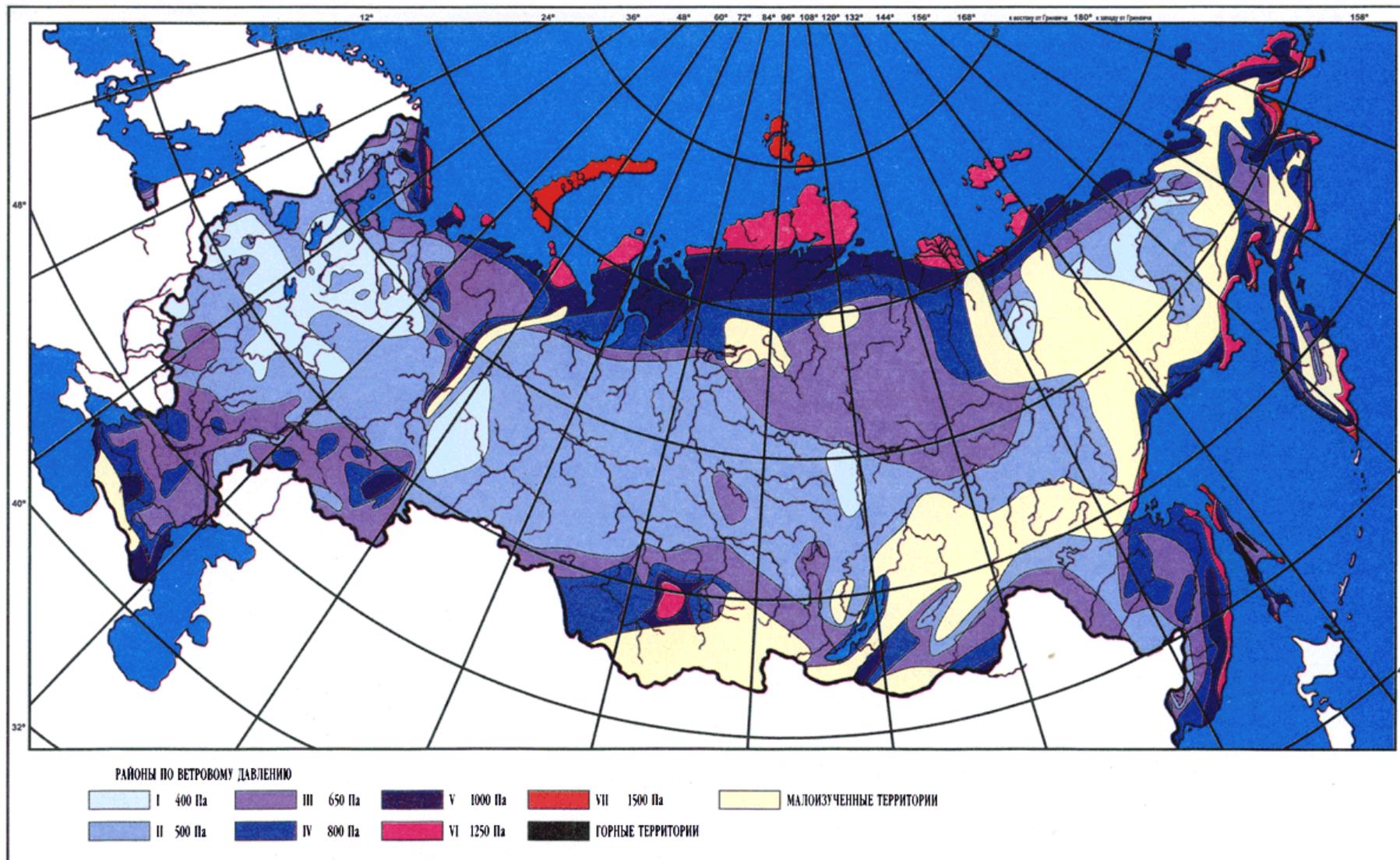


Рис. 1. Карта районирования территории РФ по ветровому давлению

В соответствии с картой районирования территории России по ветровому давлению (рис. 1) или по региональным картам районирования.

Таблица 1 -Нормативное ветровое давление  $W_0$  на высоте 10 м над поверхностью земли

Район по ветру	Нормативное ветровое давление $W_0$ , Па (скорость ветра $v$ , м/с)
I	400 (25)
II	500 (29)
III	650 (29)
IV	650 (32)
V	800 (36)
VI	1000 (40)

Ветровое давление  $W$  определяется по формуле, Па:

$$W = \frac{v^2}{1,6} \quad (1)$$

Ветровое давление более 1500 Па должно округляться до ближайшего большего значения, кратного 250 Па.

Для ВЛ 110 - 750 кВ нормативное ветровое давление должно приниматься не менее 500 Па.

Для ВЛ, сооружаемых в труднодоступных местностях, ветровое давление рекомендуется принимать соответствующим району на один выше, чем принято для данного региона по региональным картам районирования, или на основании обработки материалов многолетних наблюдений.

Для участков ВЛ, сооружаемых в условиях, способствующих резкому увеличению скоростей ветра (высокий берег большой реки, резко выделяющаяся над окружающей местностью возвышенность, гребневые зоны хребтов, межгорные долины, открытые для сильных ветров, прибрежная полоса морей и океанов, больших озер и водохранилищ в пределах 3 - 5 км), при отсутствии данных наблюдений нормативное ветровое давление следует увеличивать на 40% по сравнению с принятым для данного района.

Ветровое давление на провода ВЛ определяется по высоте расположения

приведенного центра тяжести всех проводов, на тросы - по высоте расположения центра тяжести тросов, на конструкции опор ВЛ - по высоте расположения средних точек зон, отсчитываемых от отметки поверхности земли в месте установки опоры. Высота каждой зоны должна быть не более 10 м.

Для различных высот расположения центра тяжести проводов, тросов, а также средних точек зон конструкции опор ВЛ ветровое давление определяется умножением его значения на коэффициент  $K_w$ , принимаемый по табл.2 [1].

Таблица 2 - Изменение коэффициента  $K_w$  по высоте в зависимости от типа местности

Высота расположения приведенного центра тяжести проводов, тросов и средних точек зон конструкций опор ВЛ над поверхностью земли, м	Коэффициент $K_w$ для типов местности		
	А	В	С
До 15	1,00	0,65	0,40
20	1,25	0,85	0,55
40	1,50	1,10	0,80
60	1,70	1,30	1,00
80	1,85	1,45	1,15
100	2,00	1,60	1,25
150	2,25	1,90	1,55
200	2,45	2,10	1,80
250	2,65	2,30	2,00
300	2,75	2,50	2,20
350 и выше	2,75	2,75	2,35

Для промежуточных высот значения коэффициентов  $K_w$  определяются линейной интерполяцией.

Высота расположения приведенного центра тяжести проводов или тросов  $h_{пр}$  для габаритного пролета определяется по формуле, м

$$h_{пр} = h_{ср} - \frac{2}{3} f, \quad (2)$$

где  $h_{\text{ср}}$  - среднеарифметическое значение высоты крепления проводов к изоляторам или среднеарифметическое значение высоты крепления тросов к опоре, отсчитываемое от отметок земли в местах установки опор, м;

$f$  - стрела провеса провода или троса в середине пролета при высшей температуре, м.

При расчете проводов и тросов ветер следует принимать направленным под углом  $90^\circ$  к оси ВЛ. При расчете опор ветер следует принимать направленным под углом  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  и  $90^\circ$  к оси ВЛ, при этом для угловых опор за ось ВЛ принимается направление биссектрисы внешнего угла поворота, образованного смежными участками линии.

Нормативная ветровая нагрузка на провода и тросы  $P_w^H$ , действующая перпендикулярно проводу (тросу), для каждого рассчитываемого условия определяется по формуле

$$P_w^H = \alpha_w K_l K_w C_x W F \sin^2 \varphi, \quad (3)$$

где  $\alpha_w$  - коэффициент, учитывающий неравномерность ветрового давления по пролету ВЛ, принимаемый равным:

Ветровое давление, Па	до 200	240	280	300	320	360	400	500	580 и более
Коэффициент $\alpha_w$	1,0	0,94	0,88	0,85	0,83	0,80	0,76	0,71	0,70

Промежуточные значения  $\alpha_w$  определяются линейной интерполяцией;

$K_l$  - коэффициент, учитывающий влияние длины пролета на ветровую нагрузку, равный 1,2 при длине пролета до 50 м, 1,1 - при 100 м, 1,05 - при 150 м, 1,0 - при 250 м и более (промежуточные значения  $K_l$  определяются интерполяцией);

$K_w$  - коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте в зависимости от типа местности, определяемый по табл. 2;

$C_x$  - коэффициент лобового сопротивления, принимаемый равным: 1,1 - для проводов и тросов, свободных от гололеда, диаметром 20 мм и более; 1,2 - для всех проводов и тросов, покрытых гололедом, и для всех проводов и тросов, свободных от гололеда, диаметром менее 20 мм;

$W$  - нормативное ветровое давление, Па, в рассматриваемом режиме:

$W = W_0$  - определяется по табл.1 в зависимости от ветрового района;

$F$  - площадь продольного диаметрального сечения провода,  $m^2$  (при гололеде с учетом условной толщины стенки гололеда  $b_y$ );

$\varphi$  - угол между направлением ветра и осью ВЛ.

Площадь продольного диаметрального сечения провода (троса)  $F$  определяется по формуле,  $m^2$

$$F = (d + 2K_i K_d b_y) l \cdot 10^{-3}, \quad (4)$$

где  $d$  - диаметр провода, мм;

$K_i$  и  $K_d$  - коэффициенты, учитывающие изменение толщины стенки гололеда по высоте и в зависимости от диаметра провода и определяемые по табл.2.5.4;

$b_y$  - условная толщина стенки гололеда, мм, принимается согласно 2.5.48;

$l$  - длина ветрового пролета, м.

Расчетная ветровая нагрузка на провода (тросы)  $P_W^H$  при механическом расчете проводов и тросов по методу допускаемых напряжений определяется по формуле, Н

$$P_{W\Pi} = P_W^H \gamma_{nw} \gamma_p \gamma_f, \quad (5)$$

где  $P_W^H$  - нормативная ветровая нагрузка по (3);

$\gamma_{лв}$  - коэффициент надежности по ответственности, принимаемый равным: 1,0 - для ВЛ до 220 кВ; 1,1 - для ВЛ 330-750 кВ и ВЛ, сооружаемых на двухцепных и многоцепных опорах независимо от напряжения, а также для отдельных особо ответственных одноцепных ВЛ до 220 кВ при наличии обоснования;

$\gamma_r$  - региональный коэффициент, принимаемый от 1 до 1,3. Значение коэффициента принимается на основании опыта эксплуатации и указывается в задании на проектирование ВЛ;

$\gamma_f$  - коэффициент надежности по ветровой нагрузке, равный 1,1.

Анализ методики, приведенной в ПУЭ-7 показывает, что для проводов различной конструкции не учитывается плотность намотки проволок, развитость наружного контура поперечного сечения, а только диаметр провода.

Традиционно для воздушных линий электропередач применяют провода сталеалюминиевые неизолированные марки АС, состоящие из стального сердечника и алюминиевых проволок, скрученных с направлением скрутки соседних повивов в противоположные стороны, причем наружный повив имеет правое направление скрутки. Точечное касание проволок соседних повивов не позволяет добиться плотной свивки, поэтому контур поперечного сечения такого провода состоит из суммы дуг контуров каждой проволоки наружного повива (рис. 2). Столь сложный контур провода должен иметь значительное лобовое сопротивление и приводить к формированию турбулентных завихрений в пристеночных слоях ветрового потока либо на некотором удаленном расстоянии за таким плохообтекаемым телом.

В последние годы для воздушных линий электропередач начали использовать провода с формой проволок, отличной от цилиндрической (Z-образные,  $\Omega$ -образные, трапецеидальные), что позволяет достичь более плотной укладки повивов и получить наружный контур провода, близкий к

цилиндрическому и, следовательно с низким аэродинамическим сопротивлением (рис. 3).

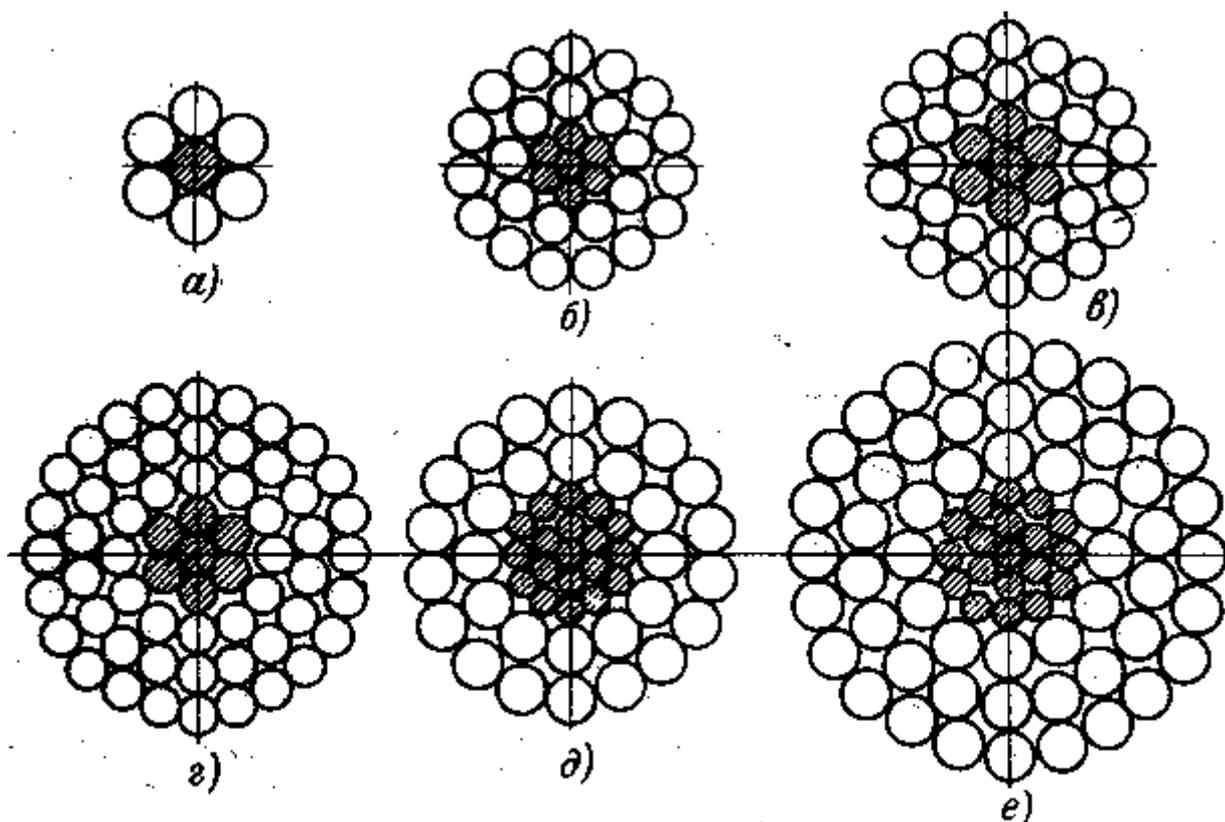


Рис. 2. Поперечное сечение проводов сталеалюминиевых неизолированных марки АС с различным количеством проволок в повивах

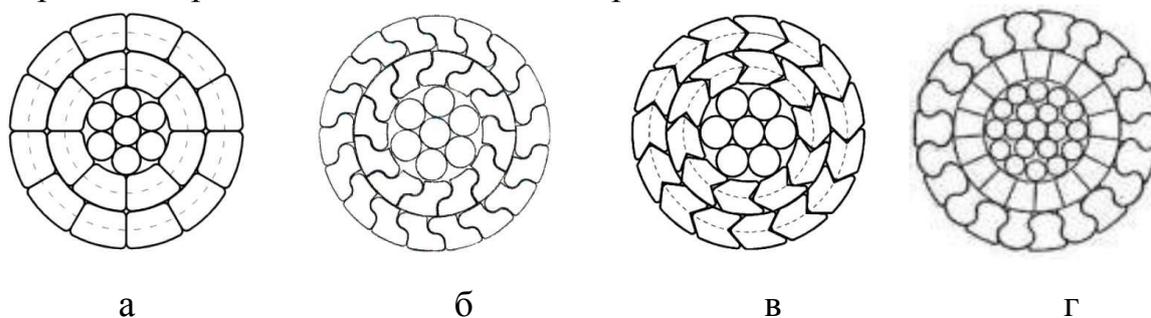


Рис. 3. Поперечное сечение инновационных конструкций проводов сталеалюминиевых неизолированных из различных форм проволок наружных повивов: а – трапецеидальная, б - Z-образные, в – стреловидные, г – омегаобразные

Еще одной группой проводов сталеалюминиевых неизолированных с низким аэродинамическим сопротивлением стали провода типа АСВП и АСВТ одинарной свивки с линейным касанием проволок, с пластически обжатými стальной и алюминиевой частями, которые производятся по СТО 71915393–ТУ 120–2012 (рис. 4).

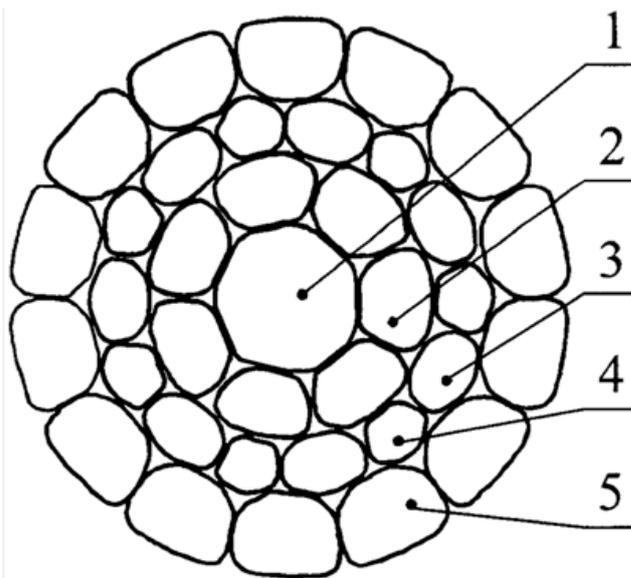


Рис. 4. Поперечное сечение провода типа АСВП:  
1 - центральная стальная проволока;  
2 - стальные проволоки первого повива;  
3 и 4 - алюминиевые проволоки второго повива разного диаметра;  
5 - алюминиевые проволоки второго повива

Приведенная выше методика расчета ветровой нагрузки [1] не учитывает различия в аэродинамическом сопротивлении проводов различной конструкции.

В настоящем расчете приведен расчет взаимодействия ветрового потока с проводами двух видов близких диаметров:

провода марки АС;

пластически обжатые провода типа АСВП и АСВТ с использованием метода конечных элементов.

## 2. РАСЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ СКОРОСТИ ПОТОКА ВЕТРА И ВЕТРОВОГО НАПОРА ВБЛИЗИ ПРОВОДОВ РАЗЛИЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Для моделирования использовали лицензионный пакет программ COMSOL Multiphysics, способный решать дифференциальные уравнения в частных производных, с модулем CFD Module, предназначенным для моделирования динамики жидкостей. При помощи COMSOL CFD Module можно осуществлять симуляции сжимаемого течения и таким образом решать задачи для дозвуковых, околозвуковых и сверхзвуковых скоростей. Пользователю приложения доступны функции решения задач ламинарного или турбулентного потока.

Для осуществления оценки влияния ветра на провода с различной формой поперечных сечений использовалась двумерная модель, геометрия которой изображена на рис. 5.

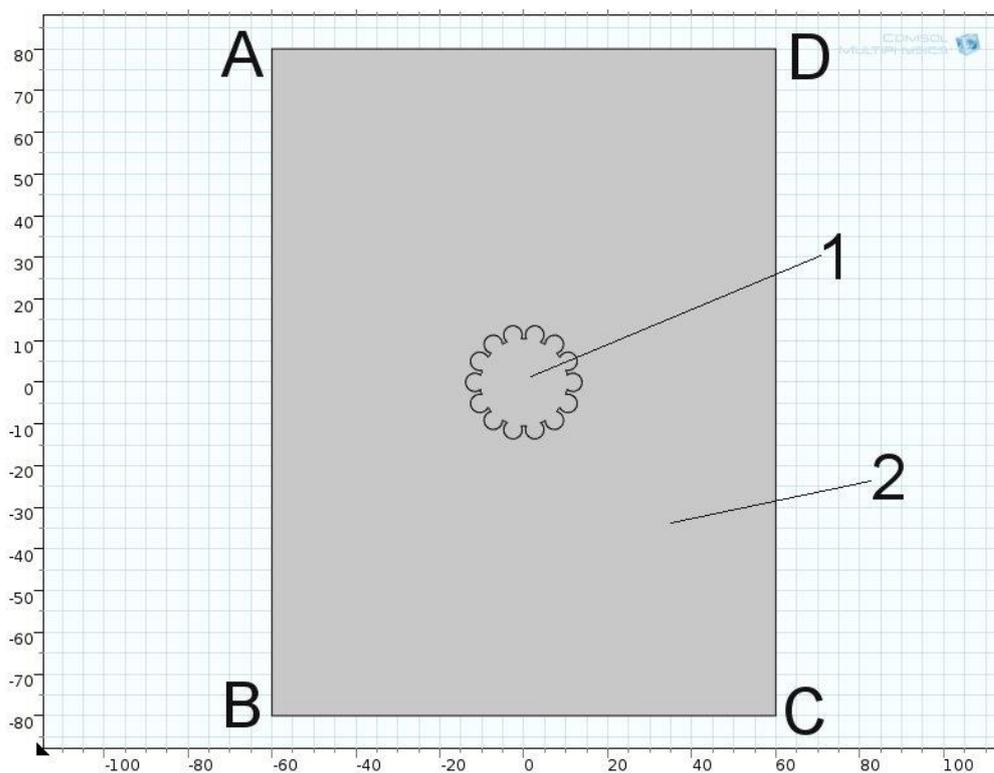


Рис. 5. Геометрия модели, использованной в данном исследовании:  
1 – сечение провода, 2 – воздух,двигающийся с заданной скоростью

В основе модели было использовано уравнение Навье–Стокса (6):

$$\rho(\mathbf{u} \cdot \nabla)\mathbf{u} = \nabla \cdot \left[ -P\mathbf{I} + (\mu + \mu_T)(\nabla\mathbf{u} + (\nabla\mathbf{u})^T) - \frac{2}{3}(\mu + \mu_T)(\nabla \cdot \mathbf{u})\mathbf{I} - \frac{2}{3}\rho k\mathbf{I} \right] + \mathbf{F}, \quad (6)$$

$$\nabla \cdot (\rho\mathbf{u}) = 0,$$

$$\rho(\mathbf{u} \cdot \nabla)k = \nabla \cdot \left[ (\mu + \mu_T\sigma_k^*)(\nabla k) \right] + P_k - \rho\beta_0^*k\omega,$$

$$\rho(\mathbf{u} \cdot \nabla)\omega = \nabla \cdot \left[ (\mu + \mu_T\sigma_\omega^*)(\nabla\omega) \right] + a\frac{\omega}{k}P_k - \rho\beta_0\omega^2,$$

$$\mu_T = \rho\frac{k}{\omega},$$

$$P_k = \mu_T \left[ \nabla\mathbf{u} : (\nabla\mathbf{u} + (\nabla\mathbf{u})^T) - \frac{2}{3}(\nabla \cdot \mathbf{u})^2 \right] - \frac{2}{3}\rho k\nabla \cdot \mathbf{u},$$

где  $\mathbf{u}$  – скорость воздуха,  $\nabla$  – оператор Набла,  $\rho$  – плотность воздуха,  $\mu$  – динамическая вязкость,  $k$  – кинетическая энергия турбулентного потока,  $\omega$  – удельная скорость рассеивания,  $a$ ,  $\sigma_\omega^*$ ,  $\sigma_k^*$ ,  $\beta_0$ ,  $\beta_0^*$ ,  $\mathbf{I}$  – интенсивность турбулентного потока.

Были выбраны следующие граничные условия:

на грани АВ установлено значение скорости ветра:

$$v_{AB} = v_0,$$

который направлен перпендикулярно грани АВ на провод;

на гранях ВС, CD и AD давление равно нулю:

$$p = 0,$$

границы сечения провода представляют недеформируемые стенки.

Моделирование проводилось при различных значениях скорости  $v_{AB}$ , относящихся к I, III и особой зонам ПУЭ.

Ветровая нагрузка, действующая на провод перпендикулярно его оси, рассчитывалась как сумма проекций давления на провод на ось  $x$ :

$$F = \int \mathbf{n} \cdot P d\mathbf{l},$$

где  $P$  – давление,  $\mathbf{n}$  – единичный вектор вдоль оси  $x$ . Рассчитанная ветровая нагрузка отличается от нормативной ветровой нагрузки на провода и тросы  $F_{\text{н}}^{\text{н}}$ , определяемой по ПУЭ-7, так как не учитываются:

изменение ветрового давления по высоте в зависимости от типа местности;

влияние длины пролета на ветровую нагрузку;  
неравномерность ветрового давления по пролету ВЛ.

Использование такого, «очищенного» от влияния различных, не зависящих от конструкции провода факторов, позволяет более четко определить вклад контура провода в изменение ветровой нагрузки.

В настоящем расчете проведено сравнение взаимодействия ветра различной скорости с проводами с различным контуром поперечного сечения, но близкого диаметра: АСВП 128/37 и АС 120/19; АСВП 277/79 и АС 240/56; АСВП 477/79 и АС 400/64.

Результаты расчета действующей на провод ветровой нагрузки представлены в таблице 1.

Примеры визуализации проведенных расчетов распределения скорости в воздушном потоке и давлений при взаимодействии ветра с проводами с различным контуром поперечного сечения (без ледяного покрова) приведены на рис. ....

Таблица 1 – Значения сил, действующих на провода с различным контуром поперечного сечения в зависимости от скорости воздушного потока.

Скорость $v_{AB}$ , м/с	Ветровая нагрузка, действующая на провода следующих марок					
	АСВП 128/37	АС 120/19	АСВП 277/79	АС 240/56	АСВП 477/79	АС 400/64
25	3.65	4.80	5.18536	7.00026	6.37887	8.048
32	5.90	7.87	8.39748	11.48598	10.31608	13.21725
60	20.80	28.45	29.78561	41.59838	36.49622	47.89583

- Среднее снижение ветровой нагрузки на провод АСВП (АСВТ), относительно стандартного АС составляет 25-40%.
- Среднее снижение ветровой нагрузки на ОКГТ по СТО 71915393-ТУ113-2014, относительно стандартного (круглопрядного), составляет 30-45%.

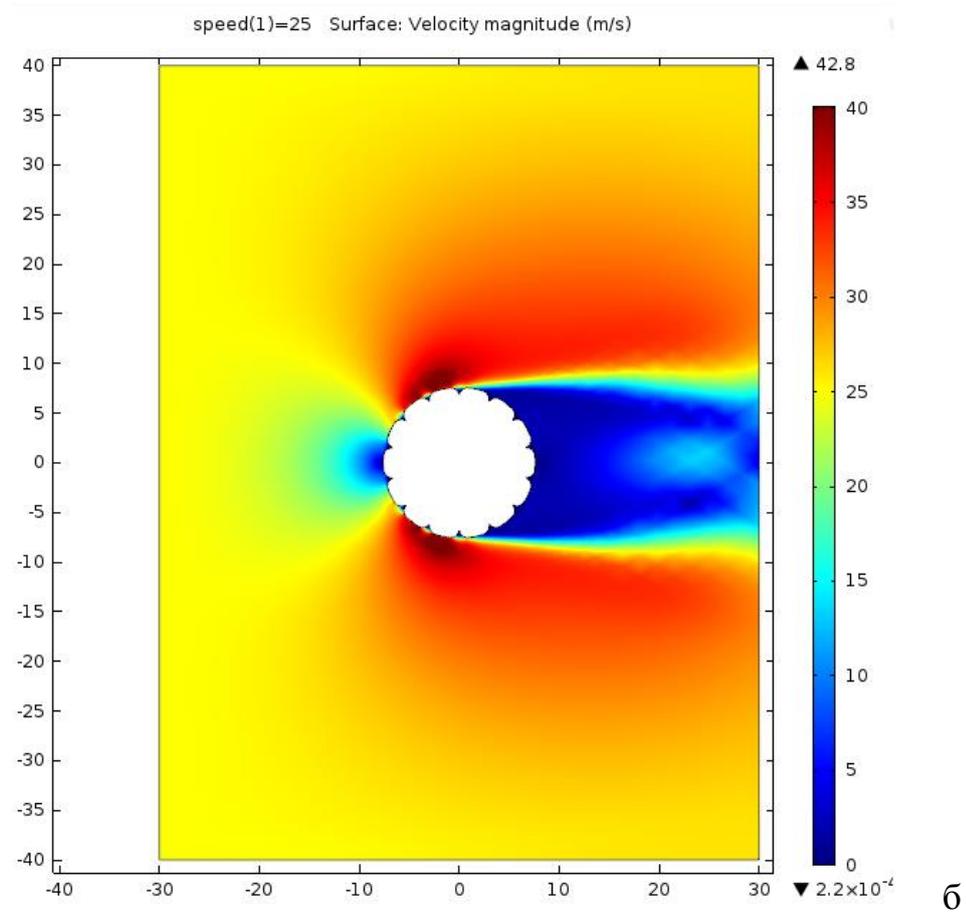
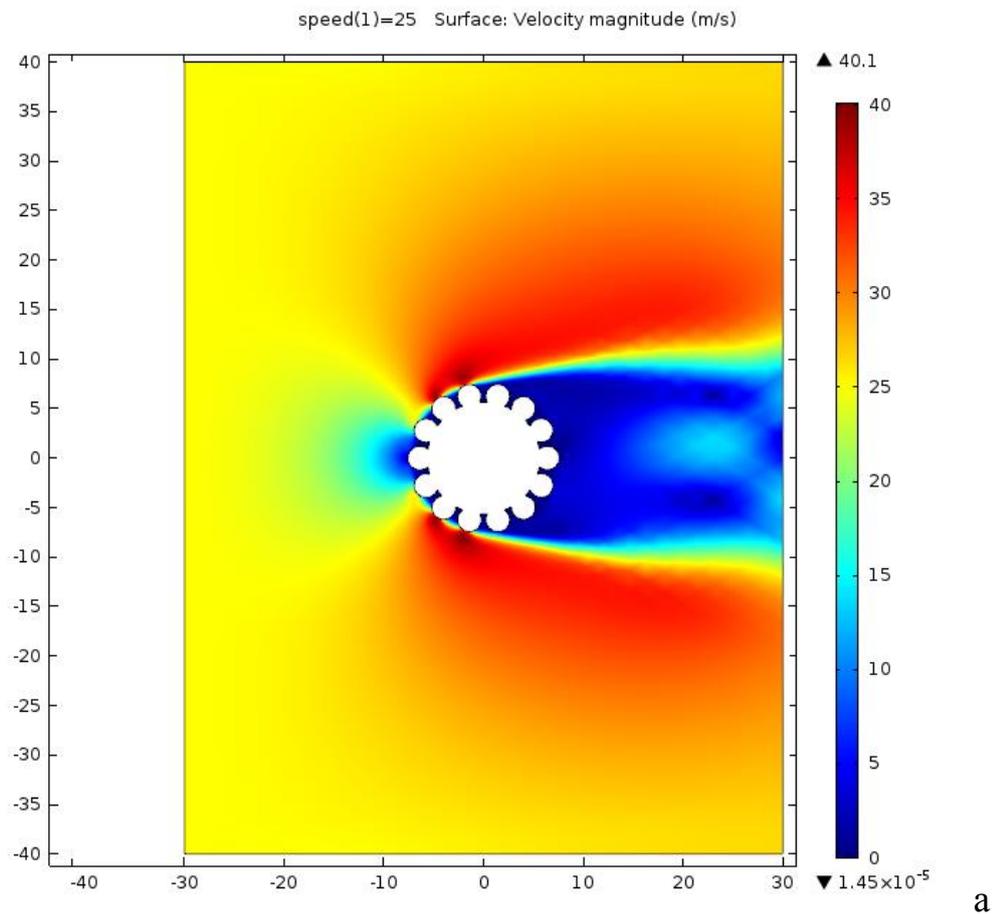


Рис.6. Распределение скоростей в воздушном потоке, при скорости ветра 25 м/с (район по ветру I) : а - АС 120/19; б - АСВП 128/37

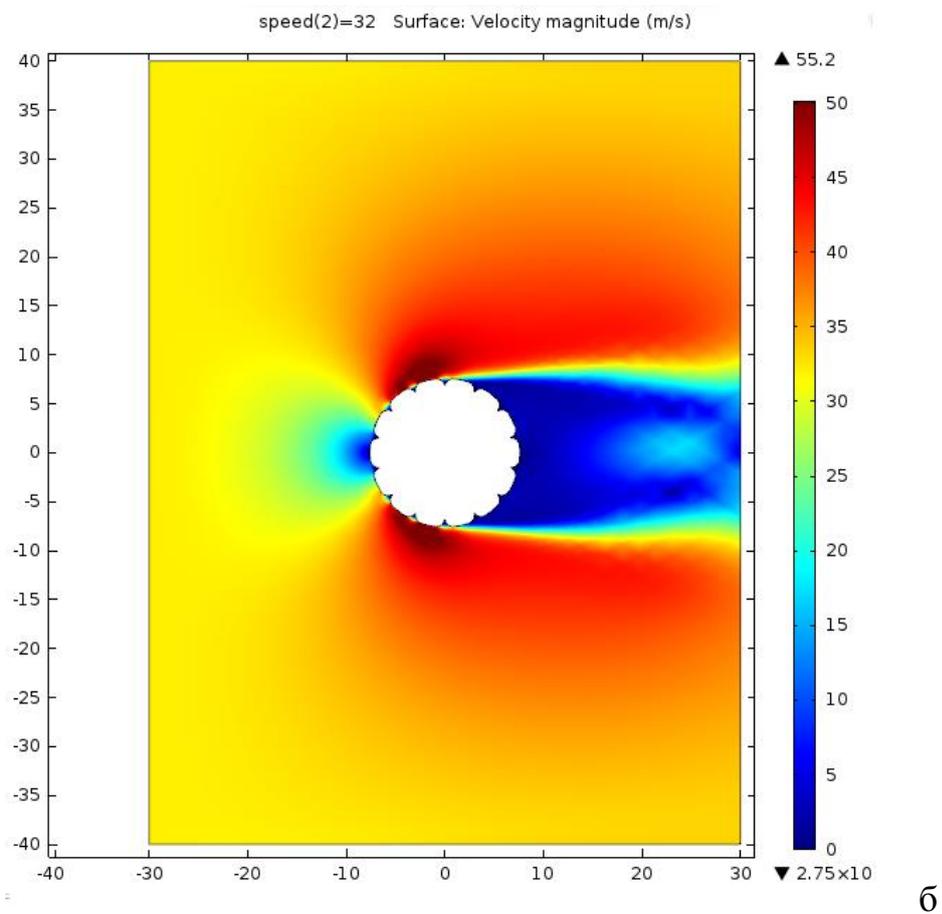
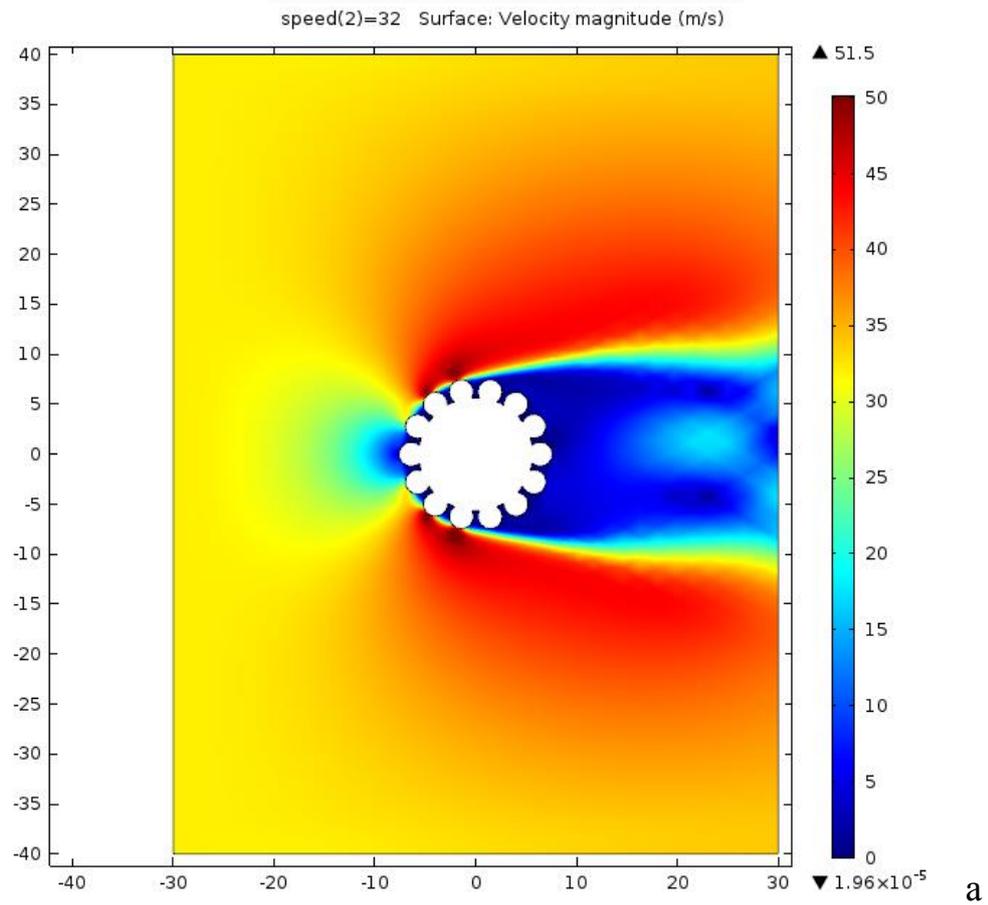


Рис. 7. Распределение скоростей в воздушном потоке, при скорости ветра 32м/с (район по ветру III) : а - АС 120/19; б - АСВП 128/37

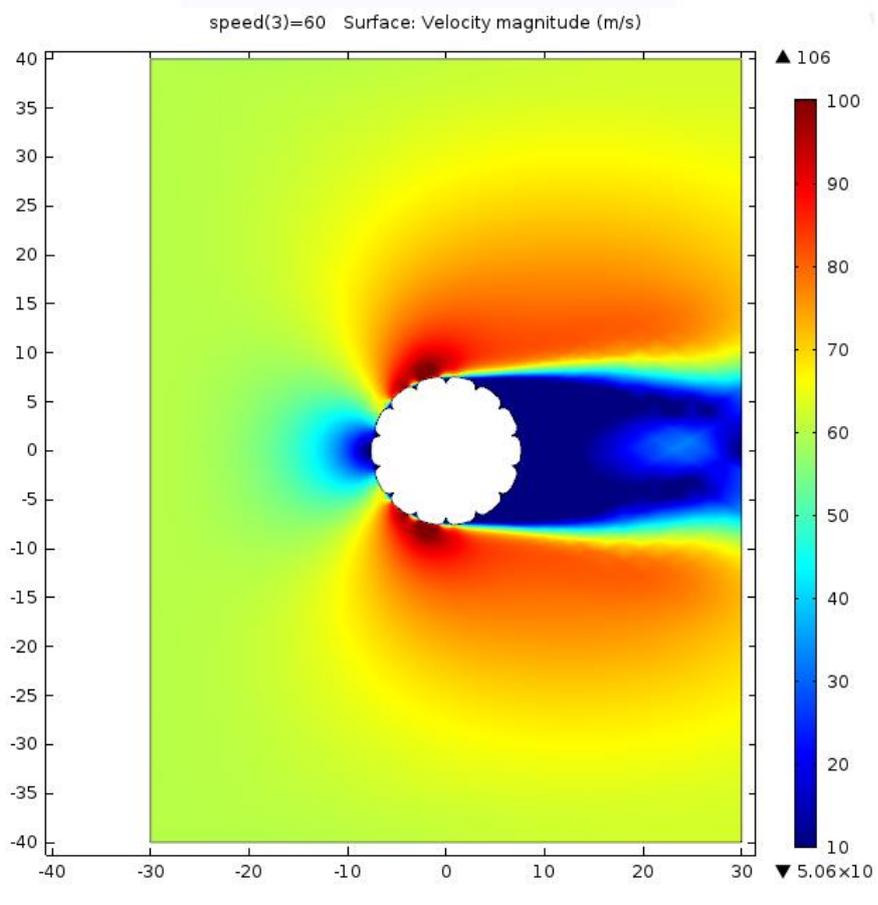
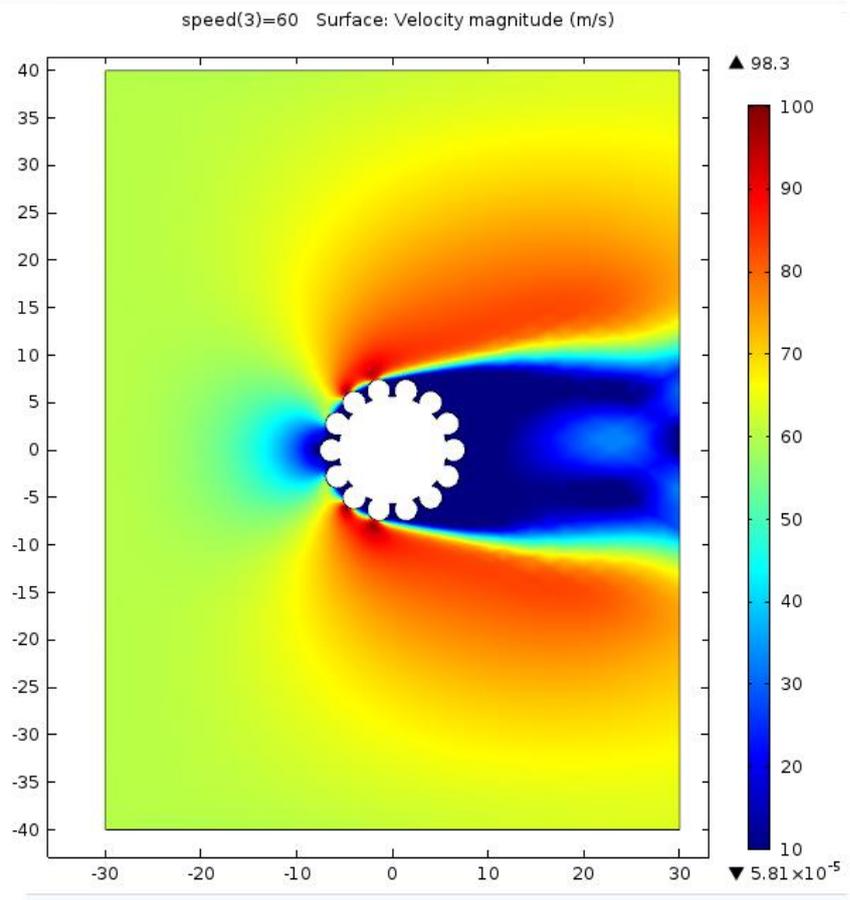


Рис. 8. Распределение скоростей в воздушном потоке, при скорости ветра 60 м/с (особый район по ветру) : а - АС 120/19; б - АСВП 128/37

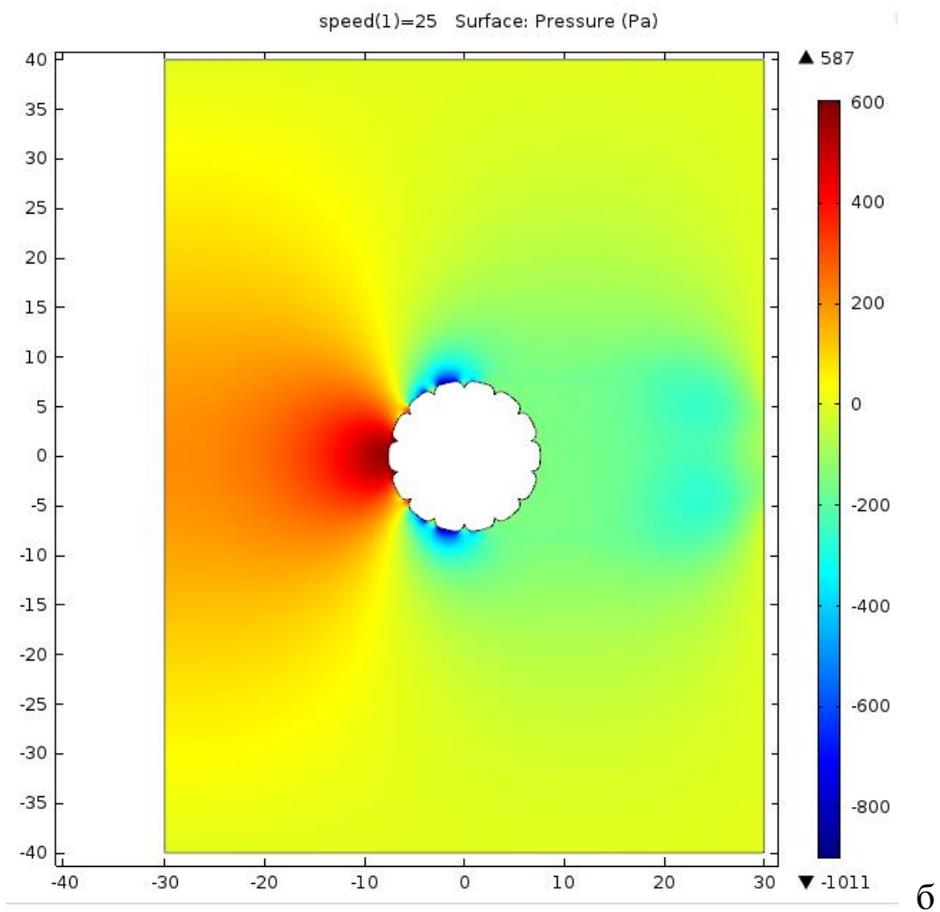
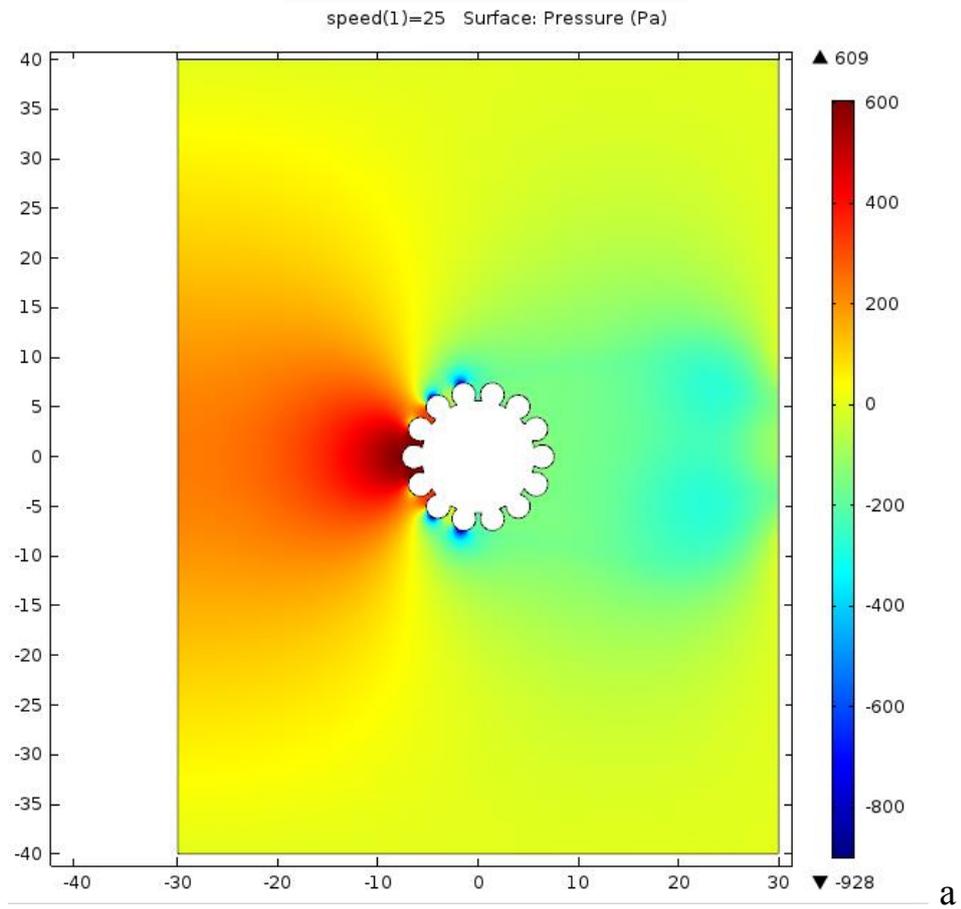


Рис. 9. Ветровое давление, действующее на провода при скорости ветра 25 м/с (район по ветру I) : а - АС 120/19; б - АСВП 128/37

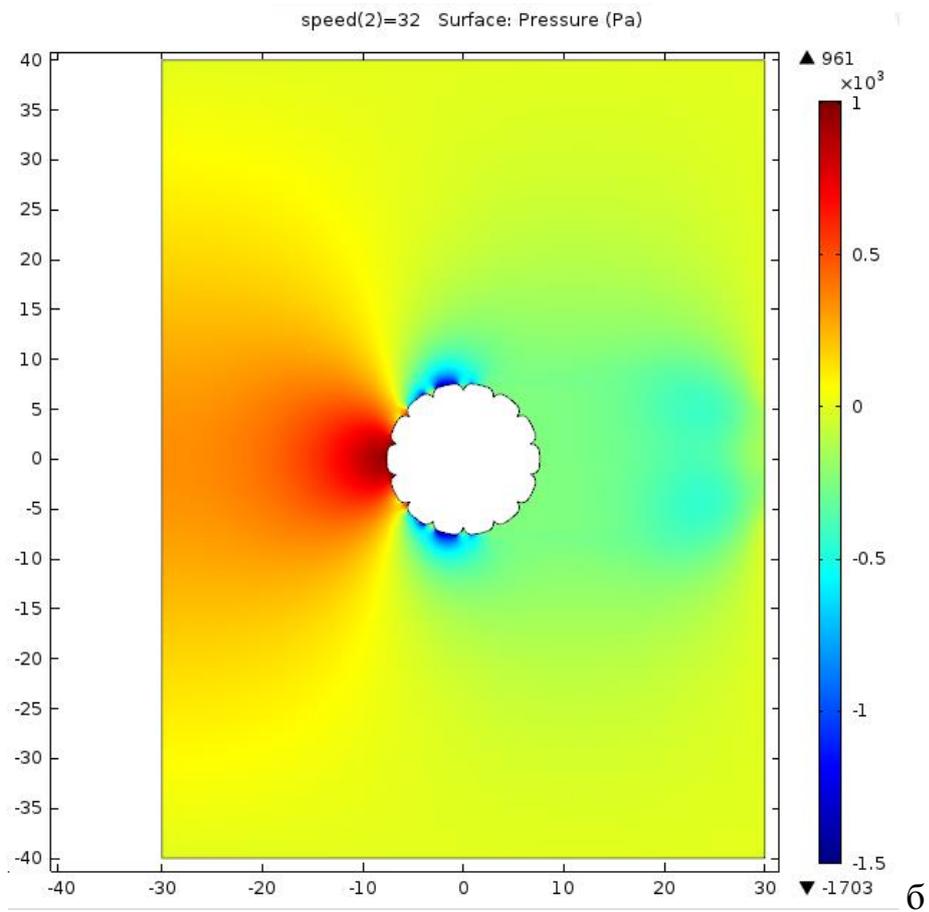
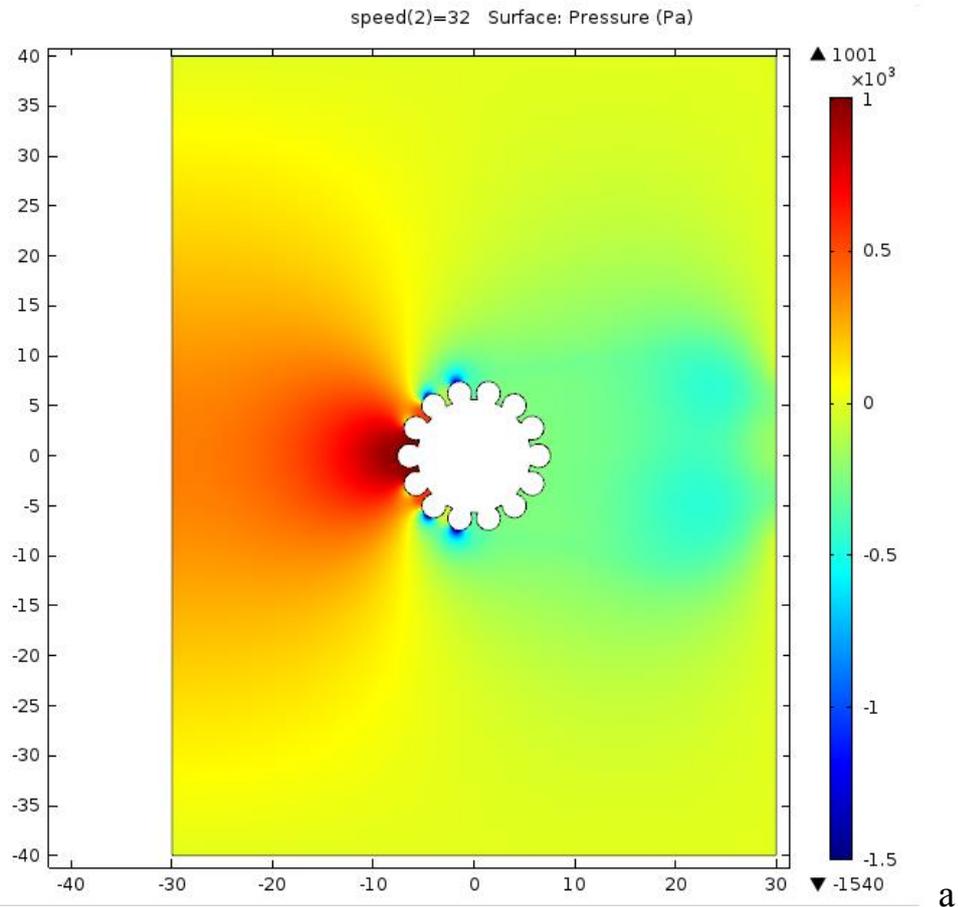


Рис. 10. Ветровое давление, действующее на провода при скорости ветра 32 м/с (район по ветру III) : а - АС 120/19; б - АСВП 128/37

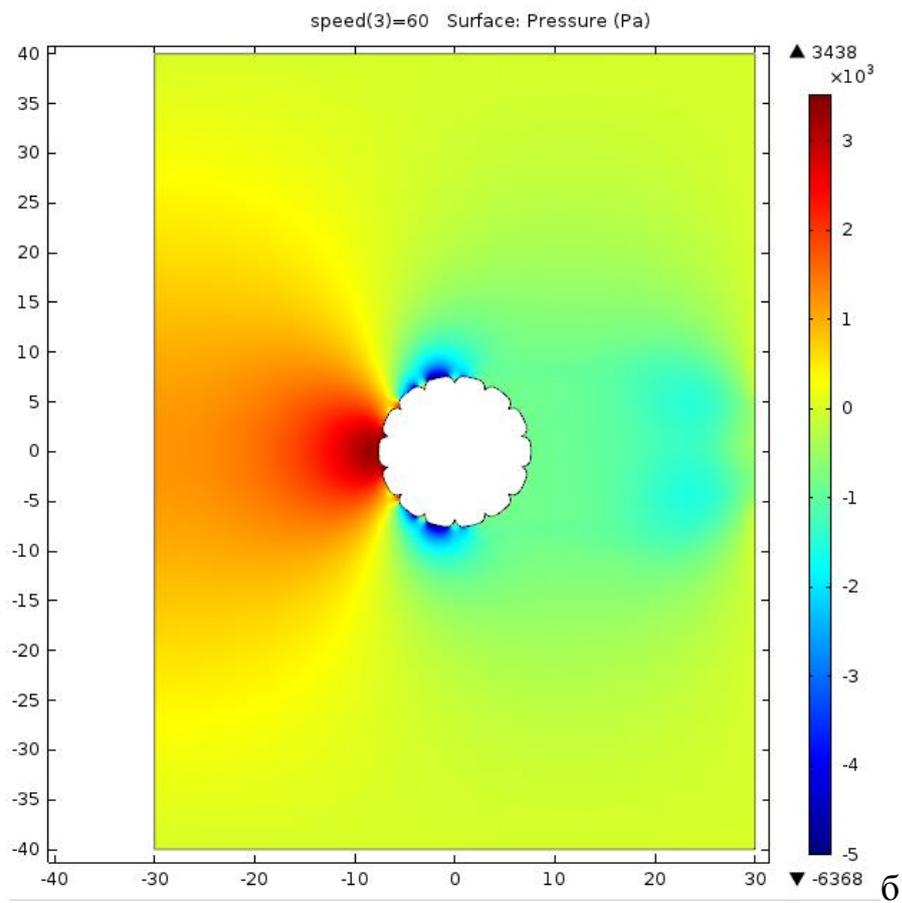
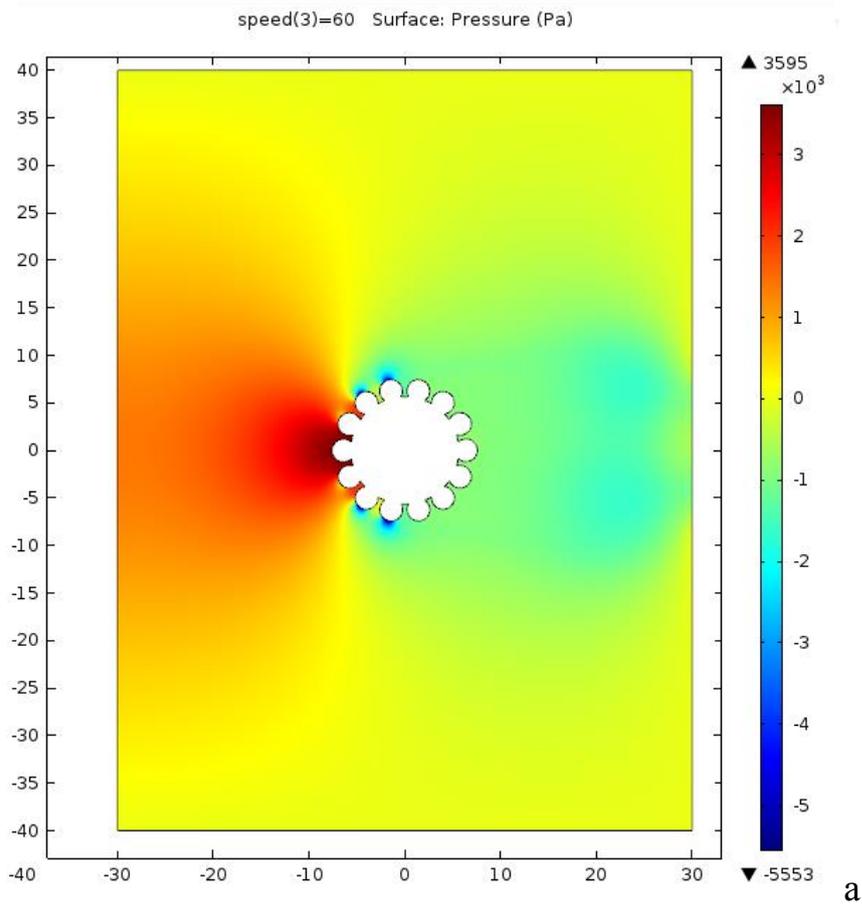


Рис. 11. Ветровое давление, действующее на провода при скорости ветра 60 м/с (особый район по ветру) : а - АС 120/19; б - АСВП 128/37

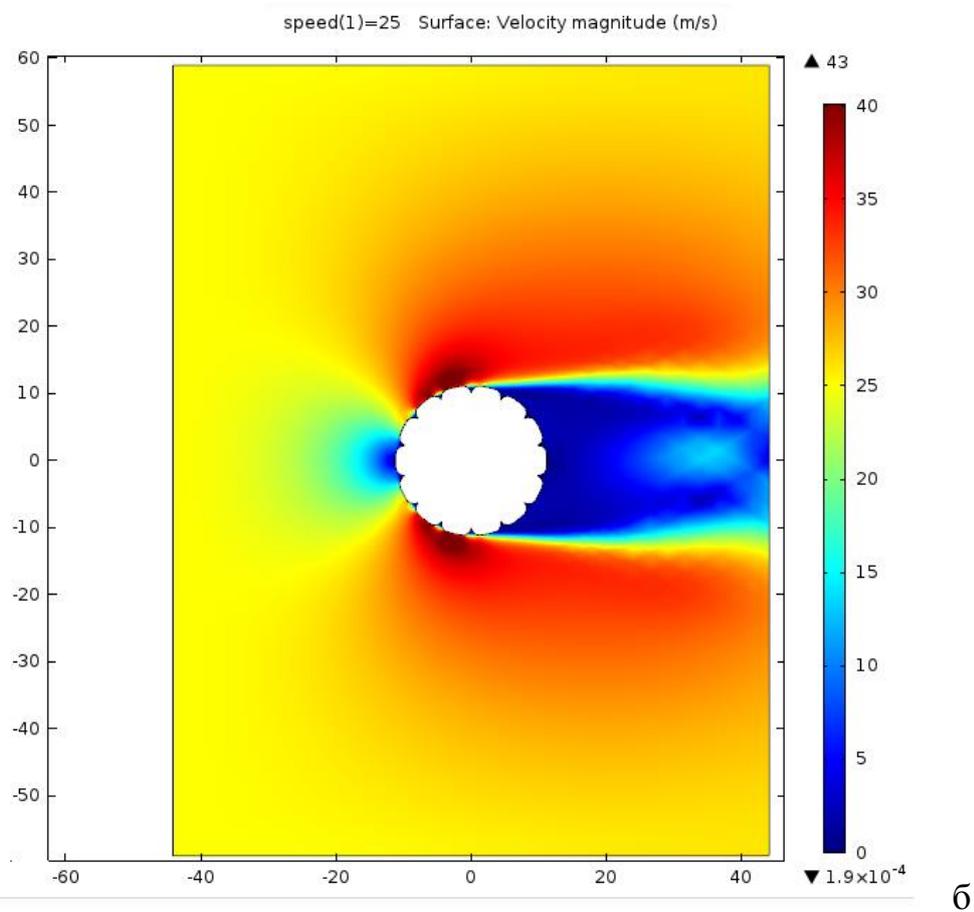
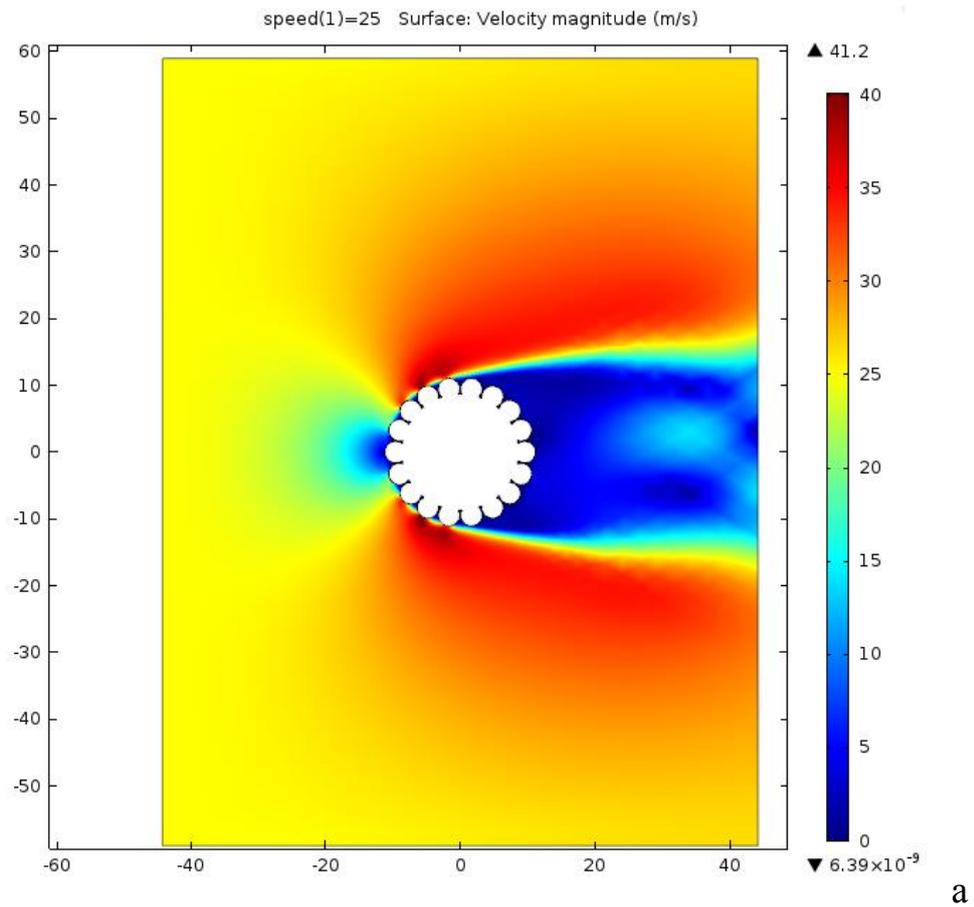


Рис. 12. Распределение скоростей в воздушном потоке, при скорости ветра 25 м/с (район по ветру I) : а - АС 240/56; б - АСВП 277/79

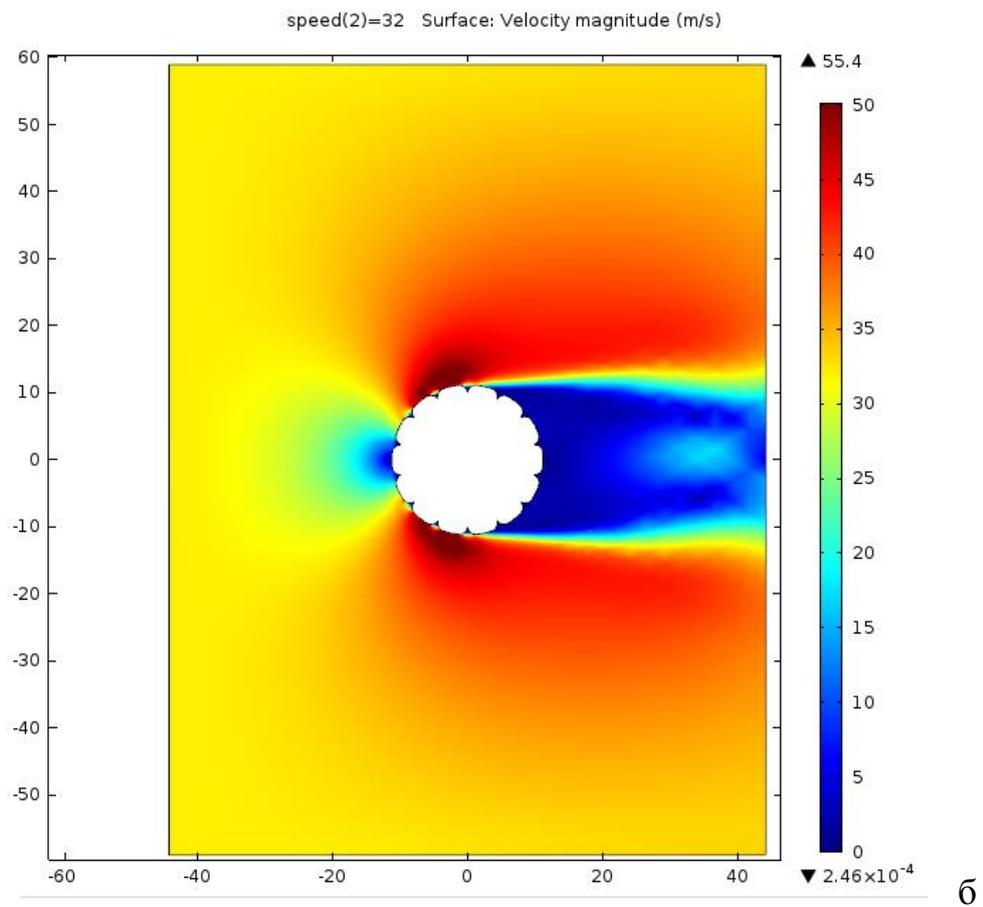
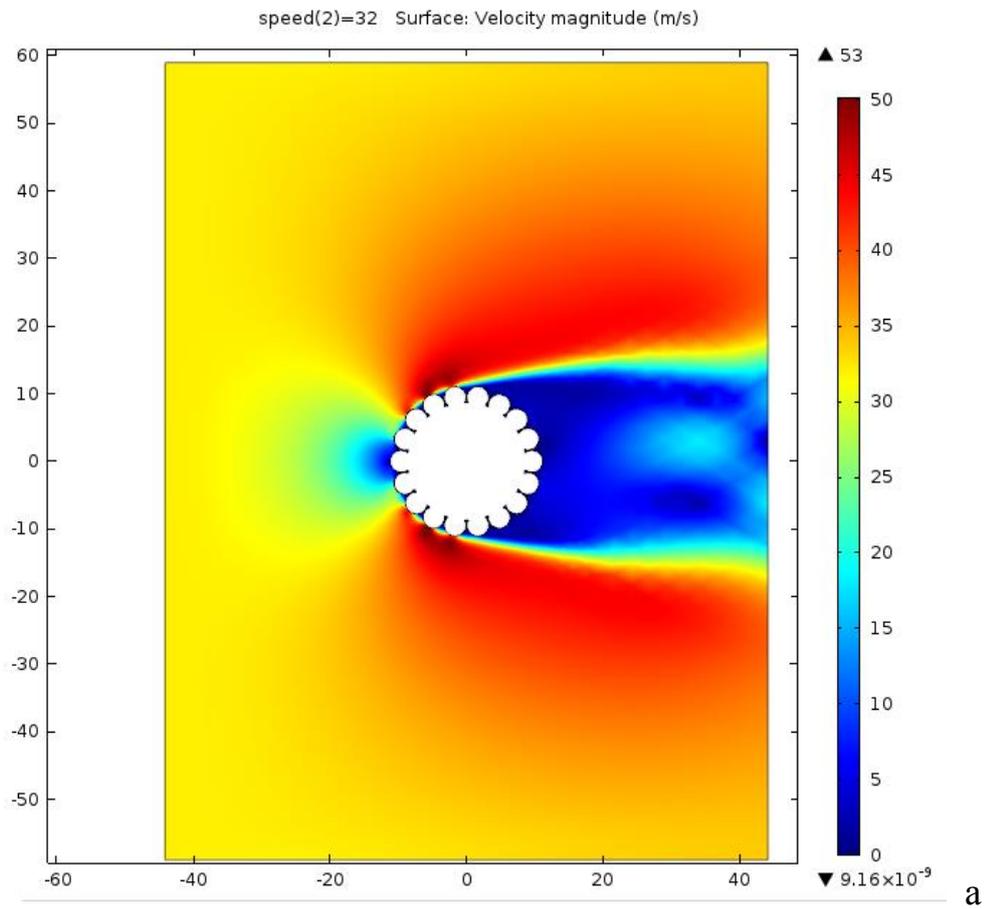


Рис. 13. Распределение скоростей в воздушном потоке, при скорости ветра 32 м/с (район по ветру III) : а - АС 240/56; б - АСВП 277/79

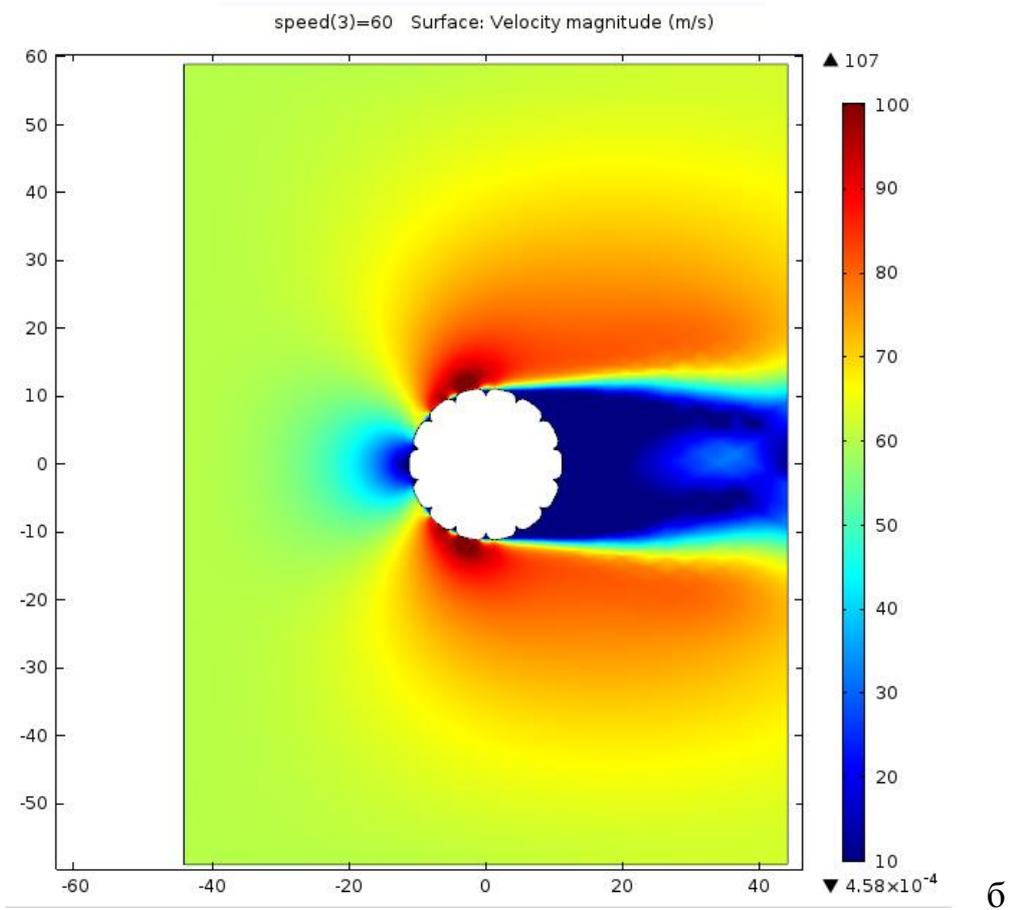
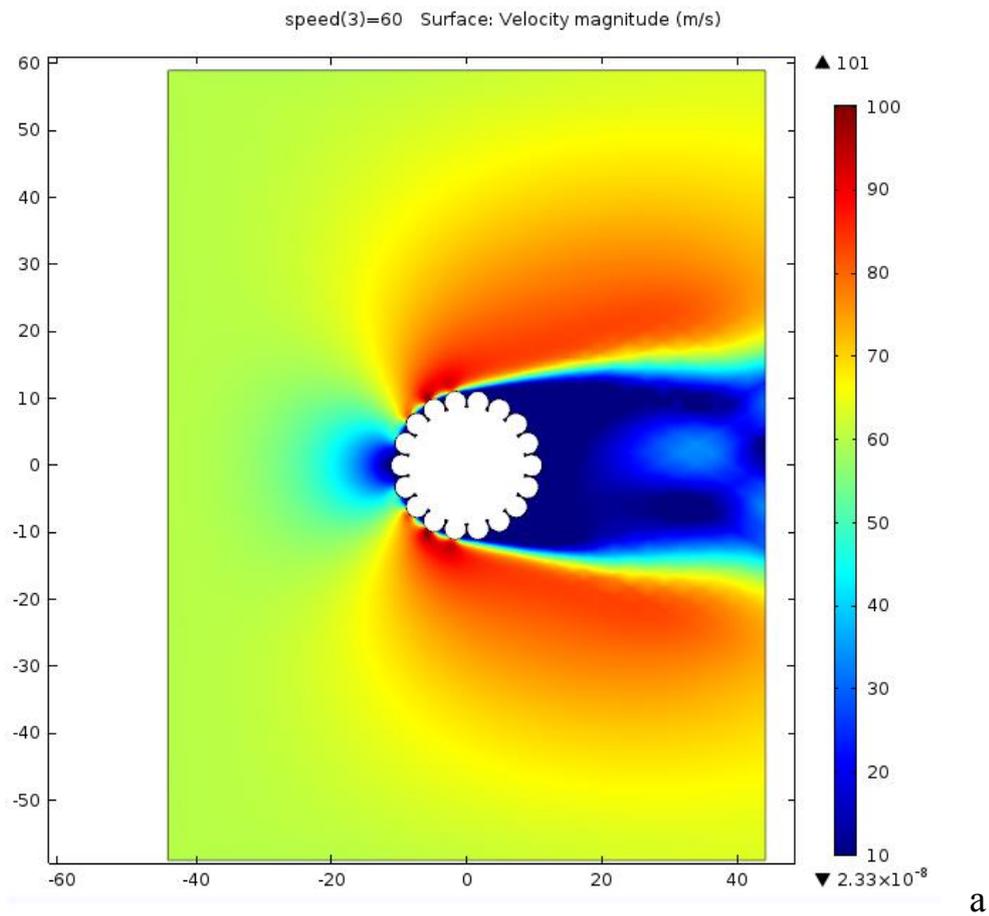


Рис. 14. Распределение скоростей в воздушном потоке, при скорости ветра 60 м/с (особый район по ветру) : а - АС 240/56; б - АСВП 277/79

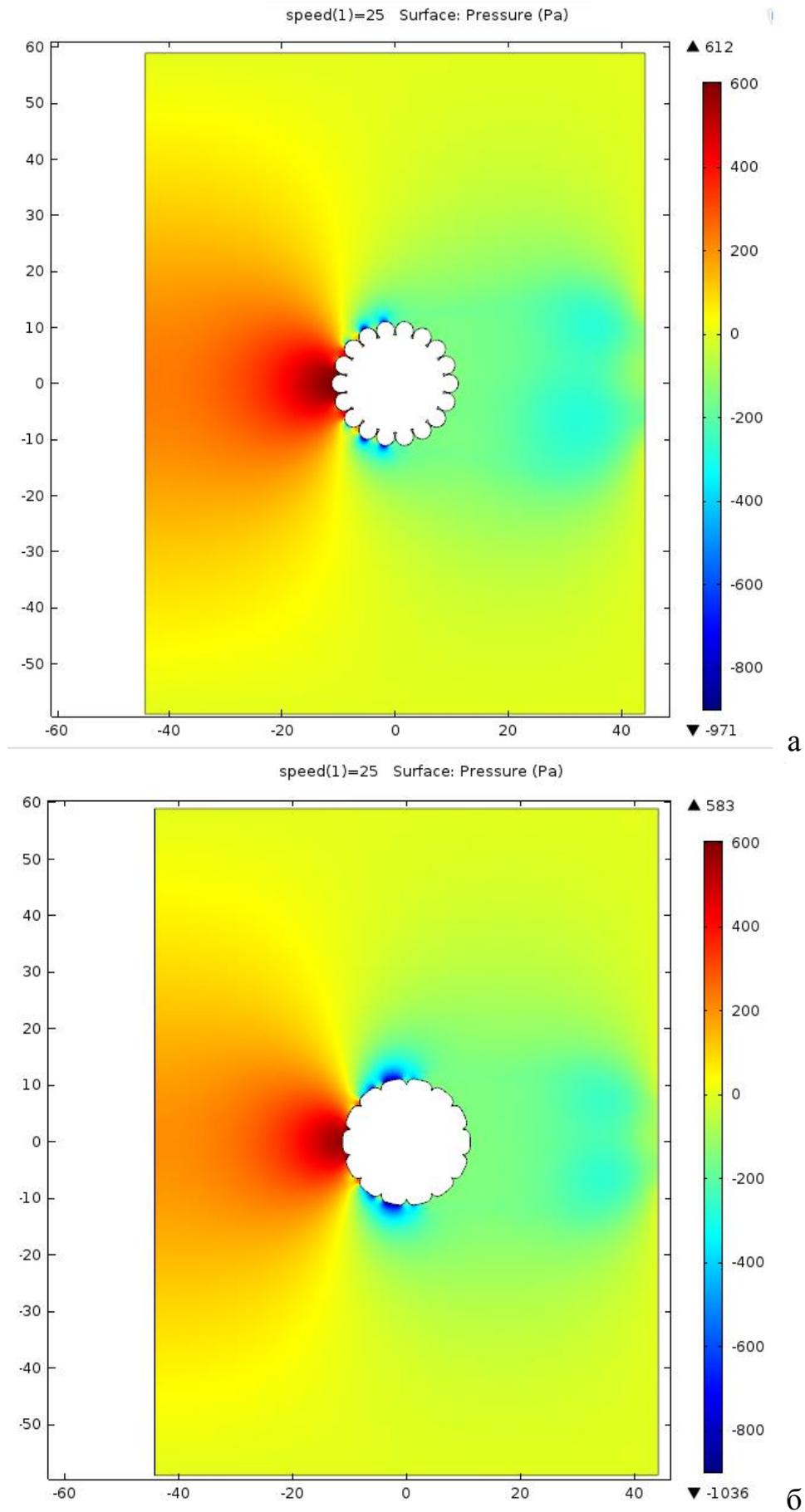


Рис. 15. Ветровое давление, действующее на провода при скорости ветра 25 м/с (район по ветру I) : а - АС 240/56; б - АСВП 277/79

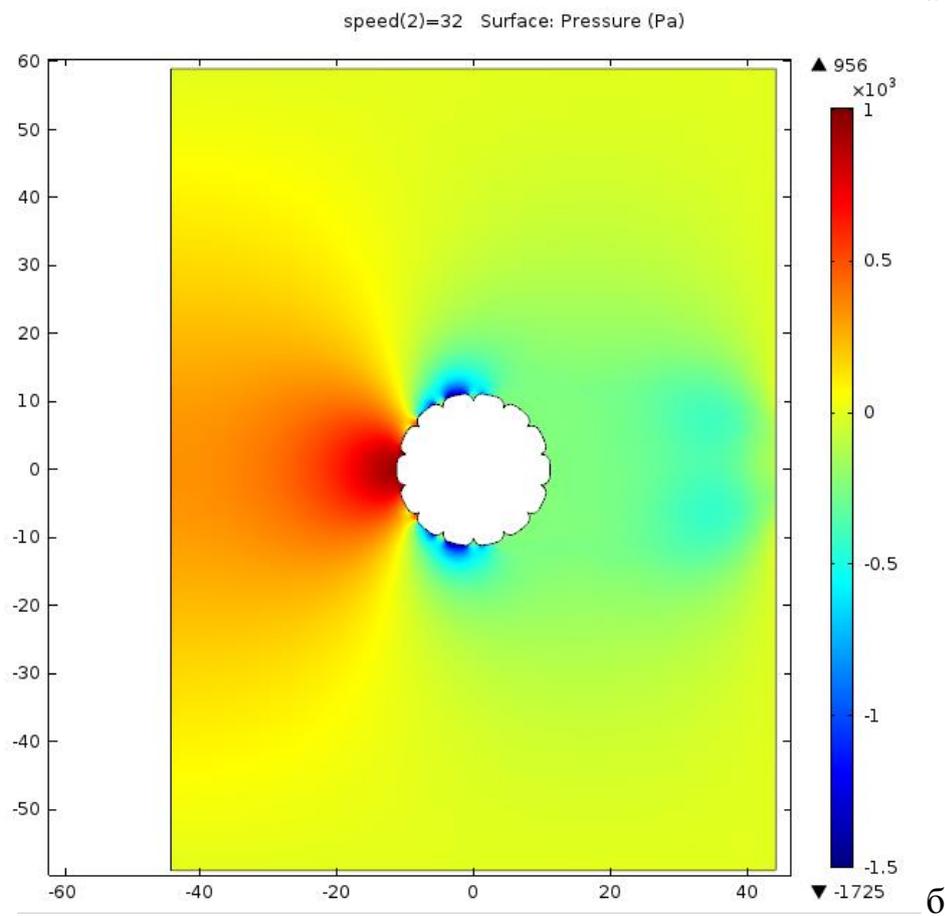
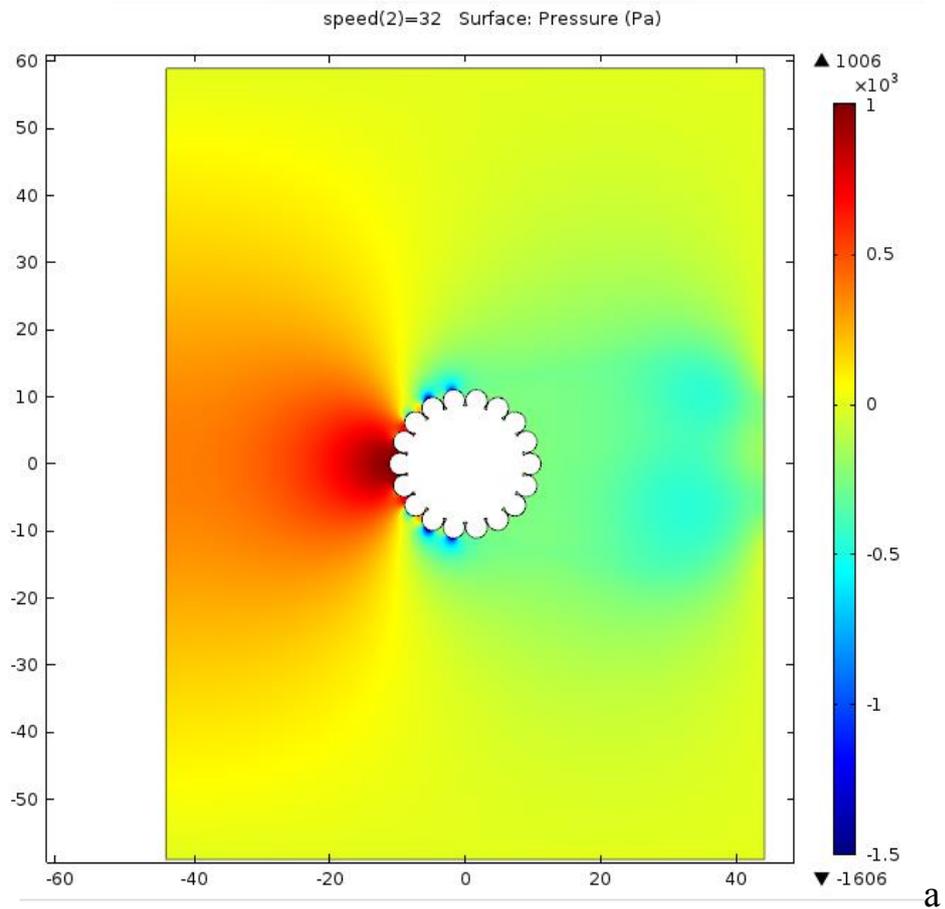


Рис. 16. Ветровое давление, действующее на провода при скорости ветра 32 м/с (район по ветру III) : а - АС 240/56; б - АСВП 277/79

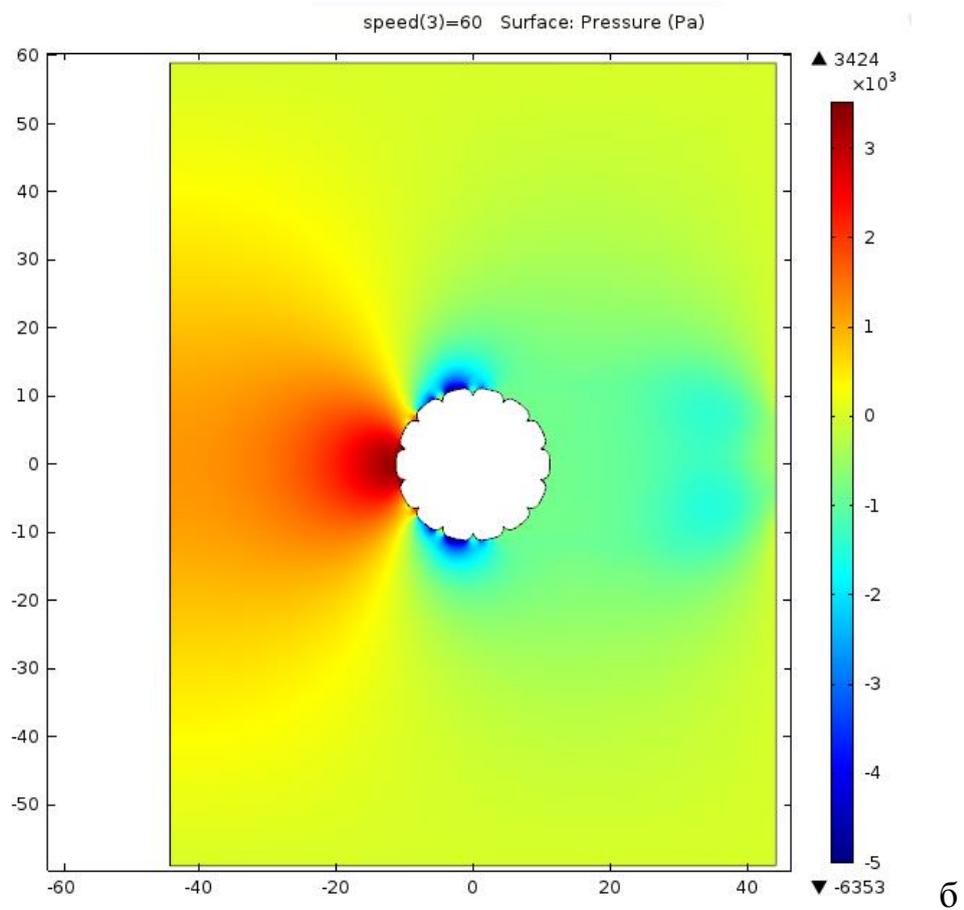
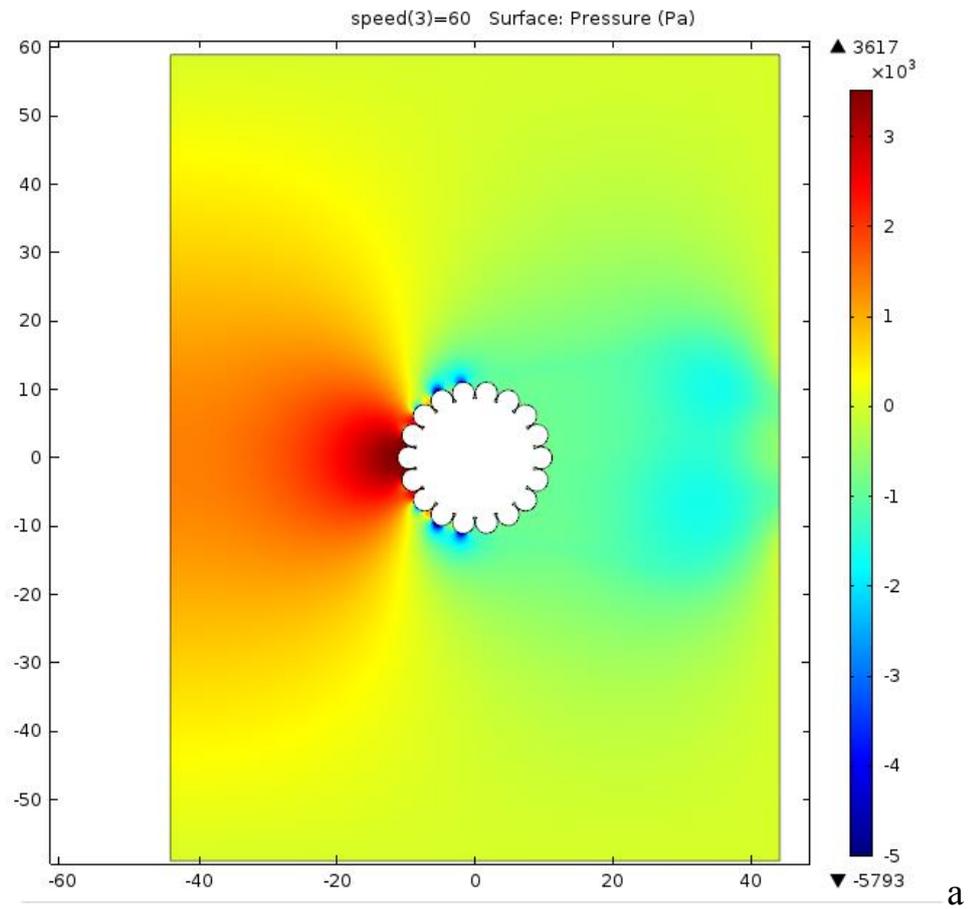


Рис. 17. Ветровое давление, действующее на провода при скорости ветра 60 м/с (особый район по ветру) : а - АС 240/56; б - АСВП 277/79

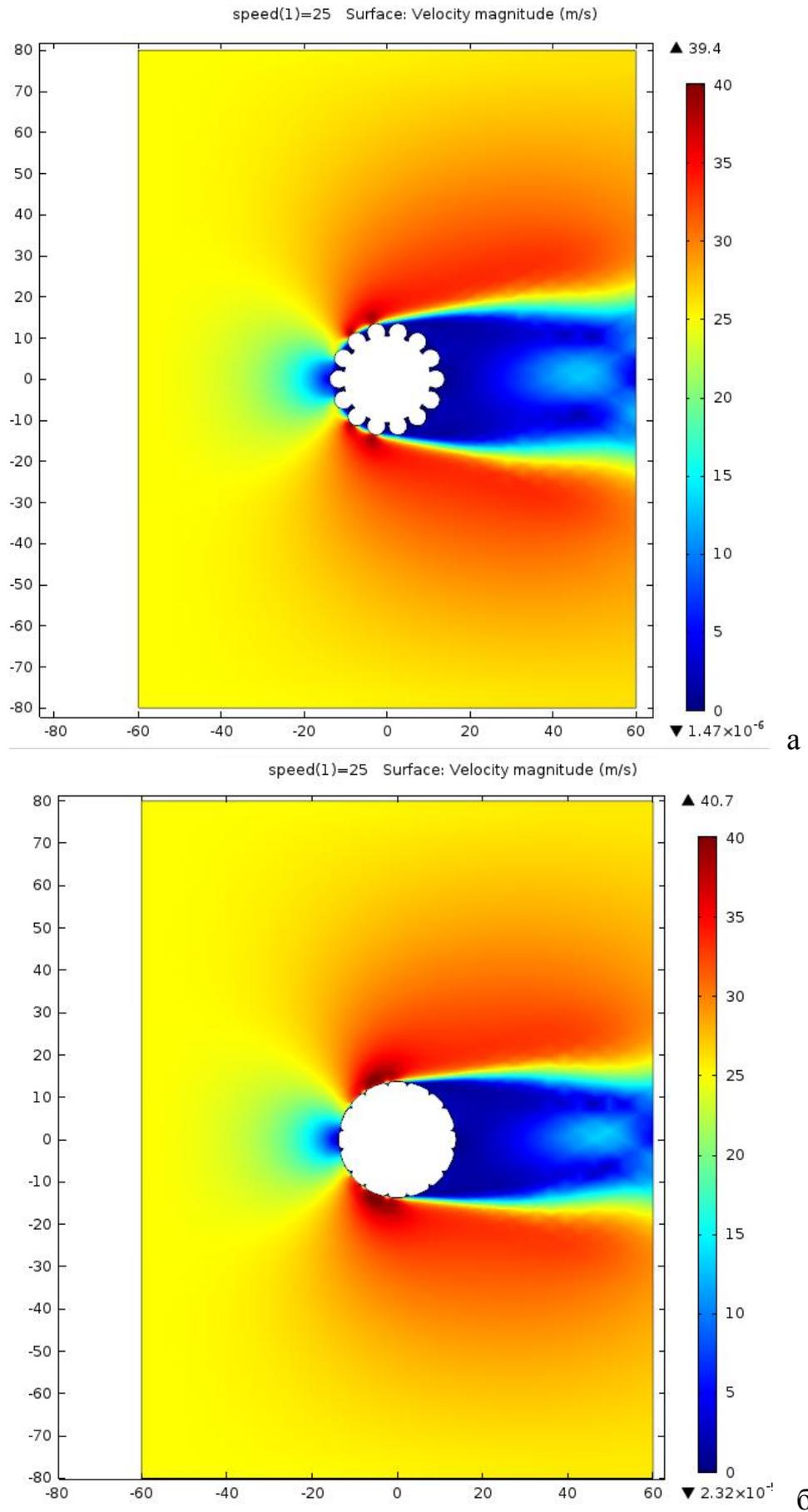


Рис. 18. Распределение скоростей в воздушном потоке, при скорости ветра 25 м/с (район по ветру I) : а - АС 400/64; б - АСВП 477/66

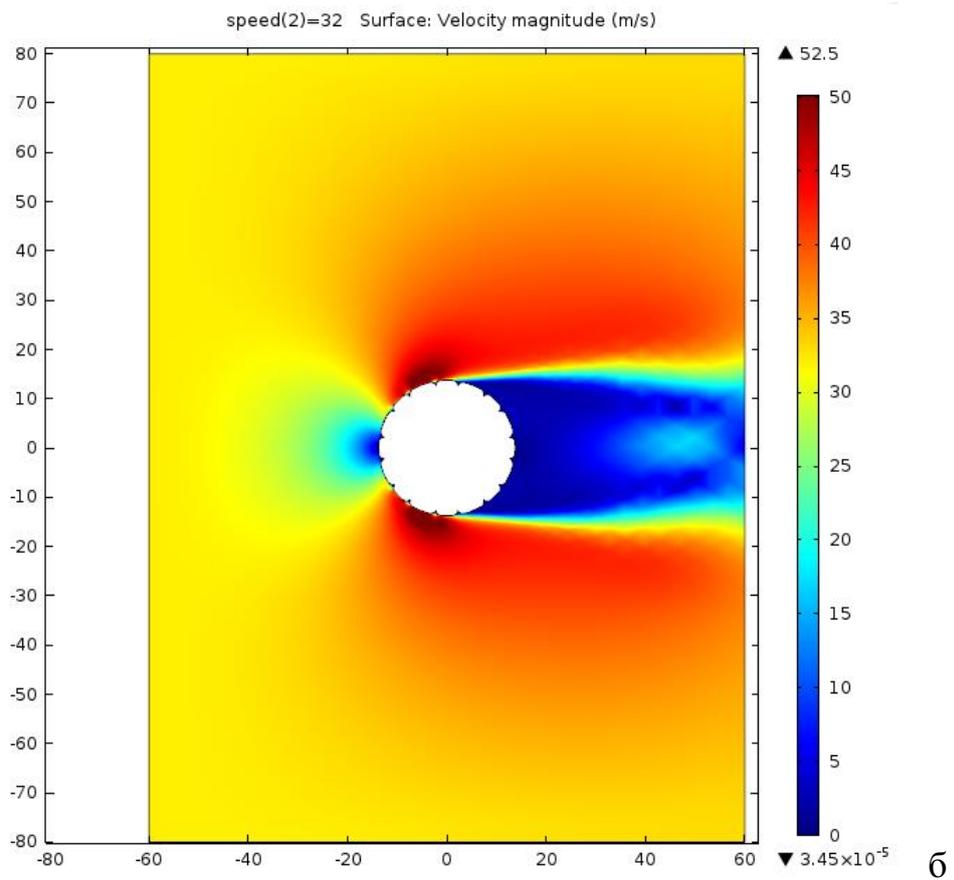
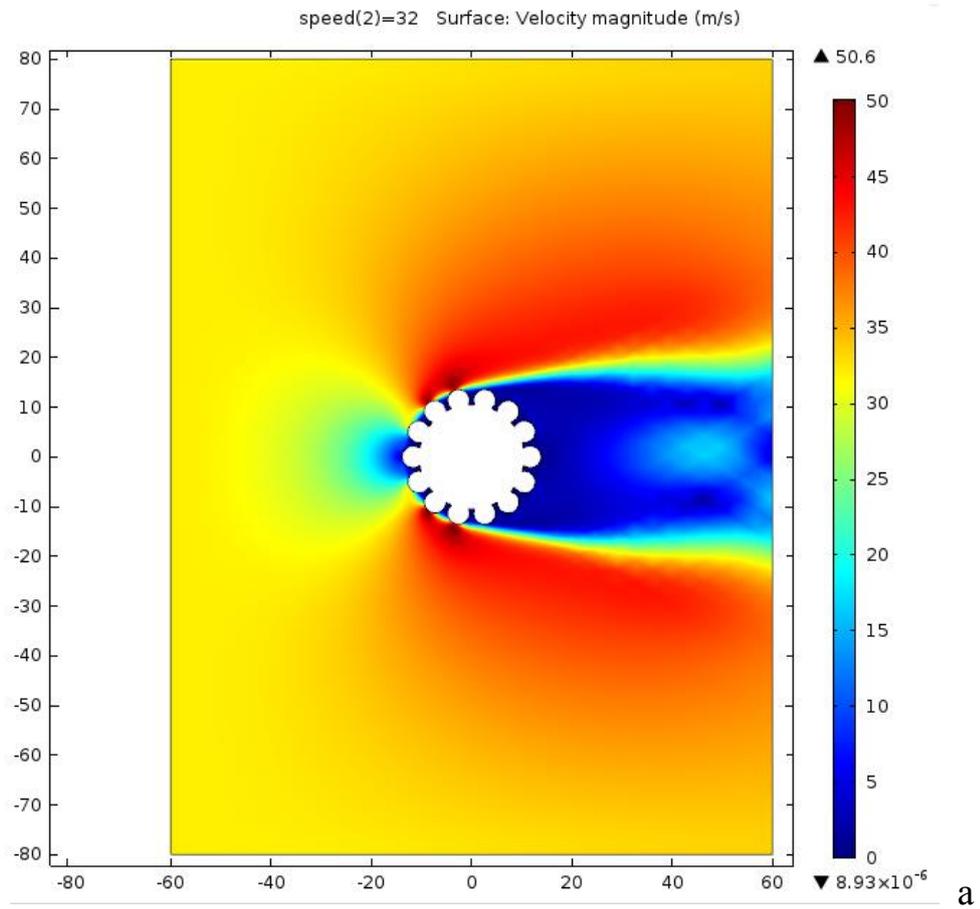


Рис. 19. Распределение скоростей в воздушном потоке, при скорости ветра 32 м/с (район по ветру III) : а - АС 400/64; б - АСВП 477/66

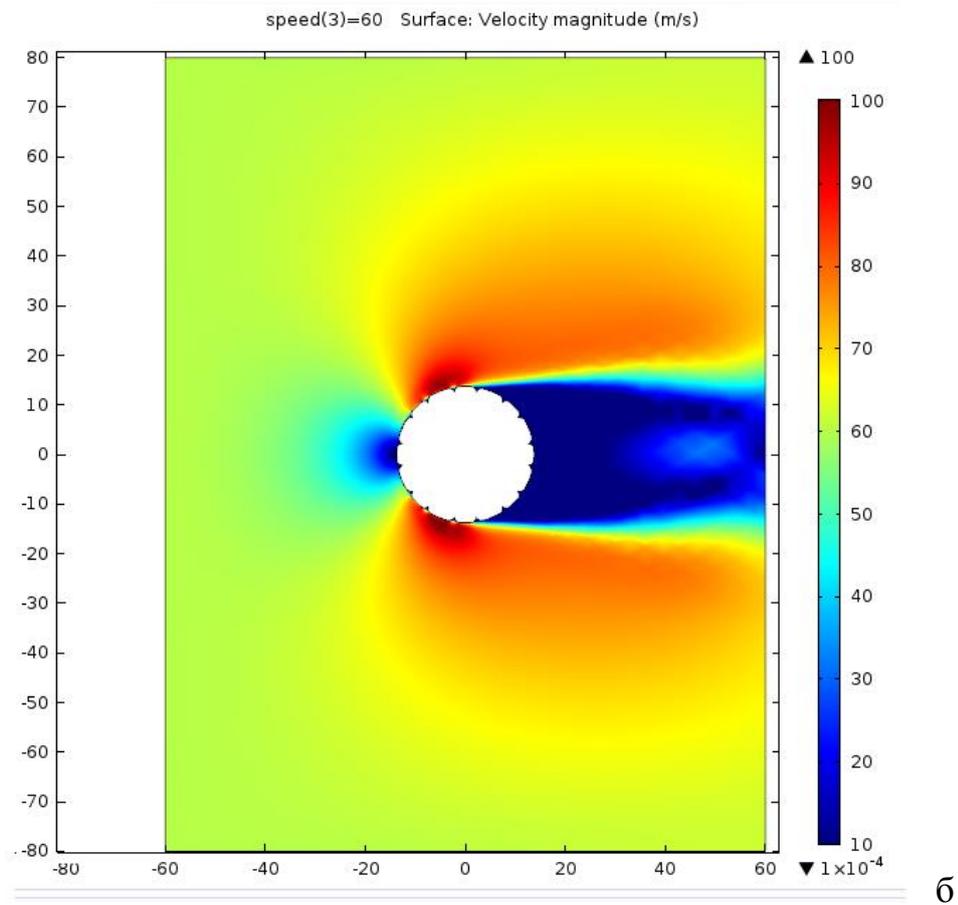
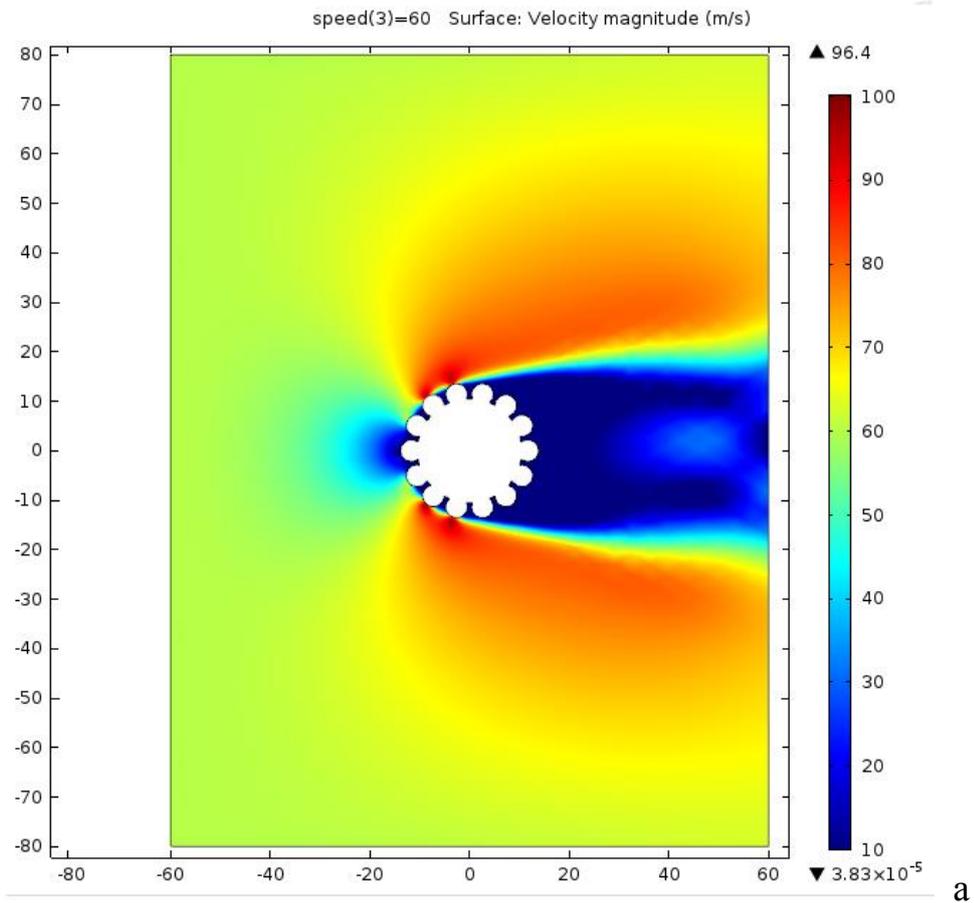


Рис. 20. Распределение скоростей в воздушном потоке, при скорости ветра 60 м/с (особый район по ветру) : а - АС 400/64; б - АСВП 477/66

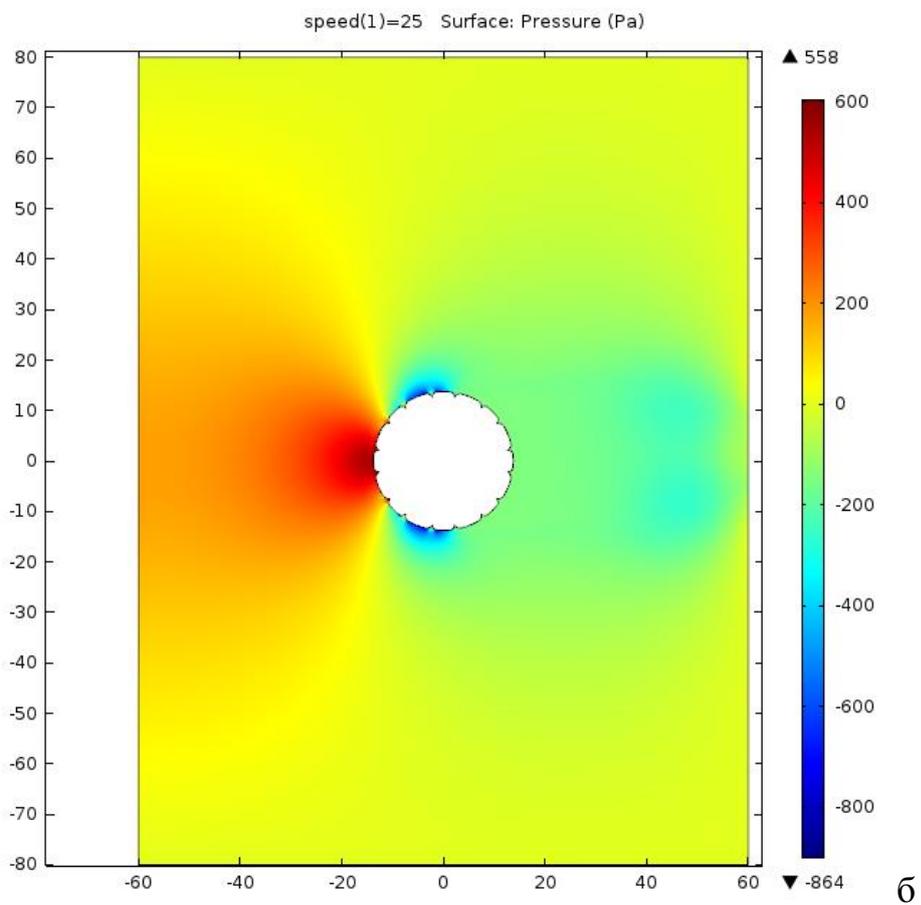
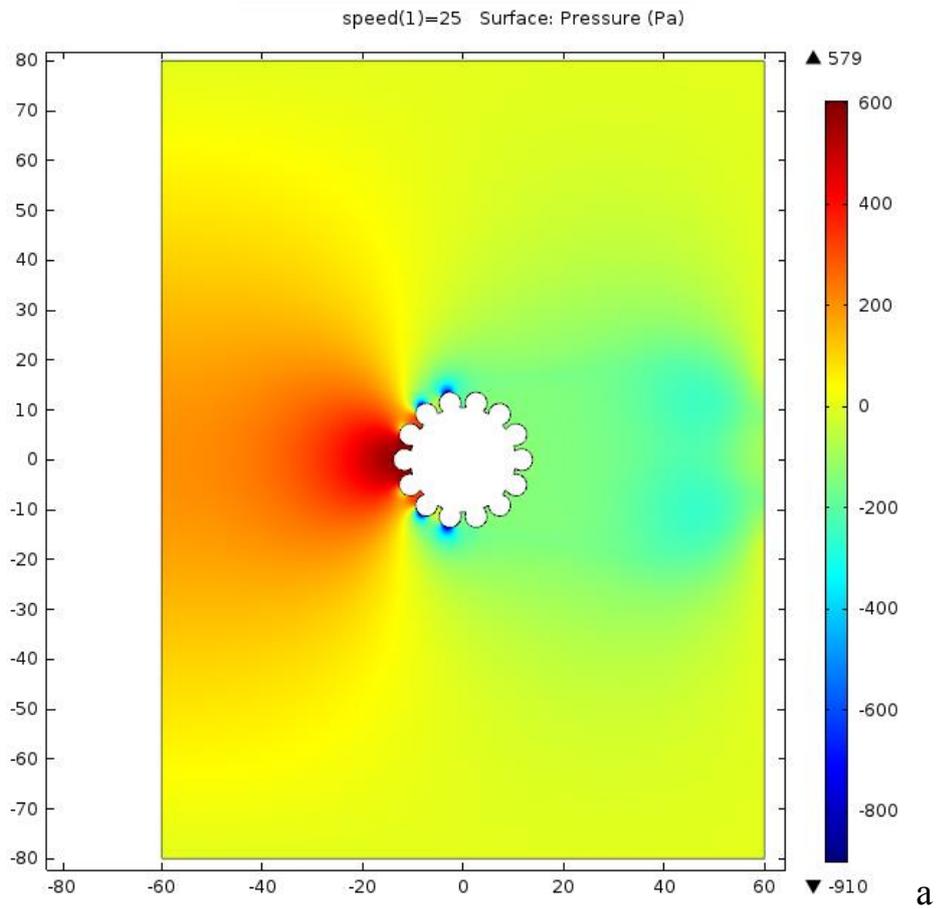


Рис. 21. Ветровое давление, действующее на провода при скорости ветра 25 м/с (район по ветру I) : а - АС 400/64; б - АСВП 477/66

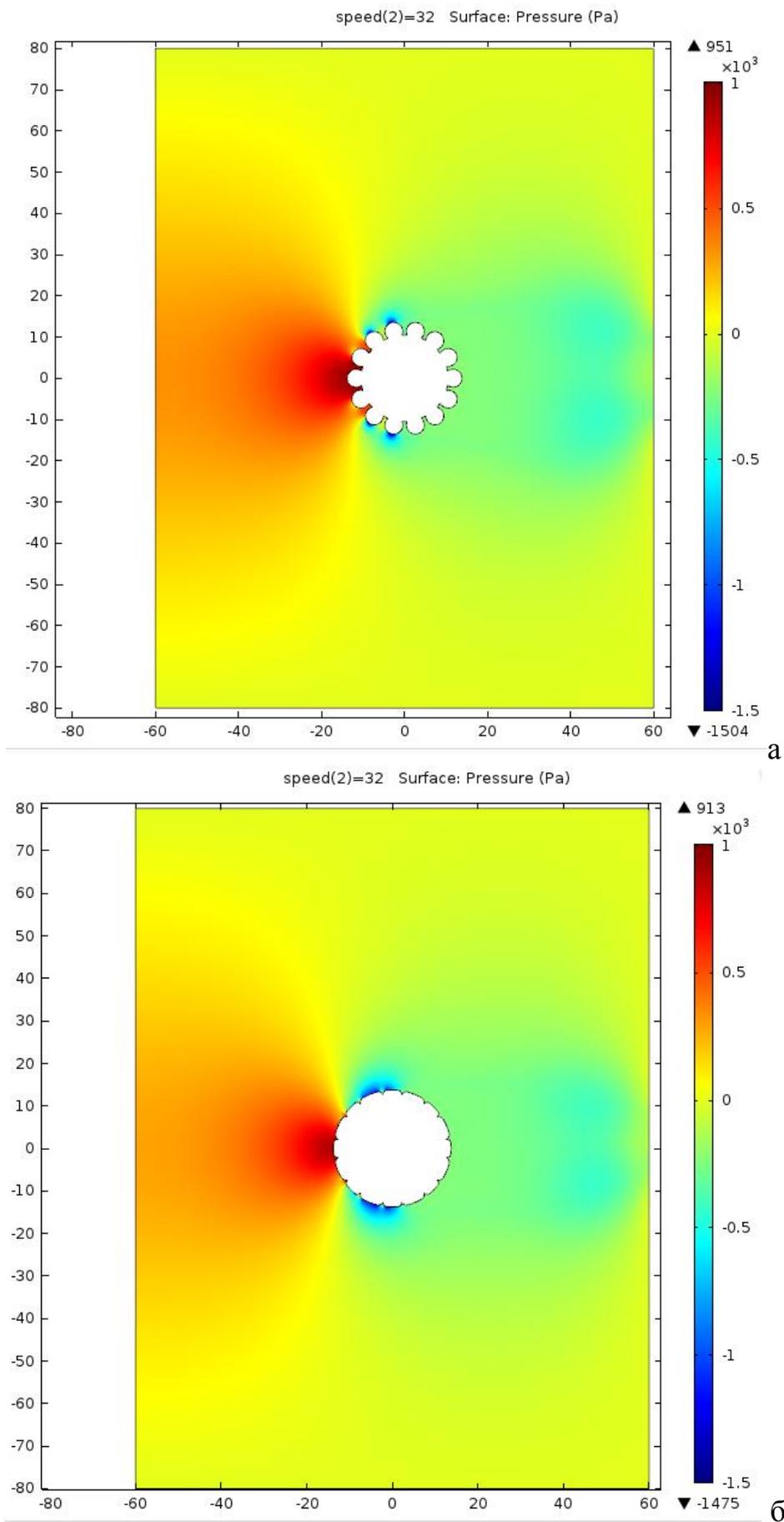


Рис. 22. Ветровое давление, действующее на провода при скорости ветра 32 м/с (район по ветру III) : а - АС 400/64; б - АСВП 477/66

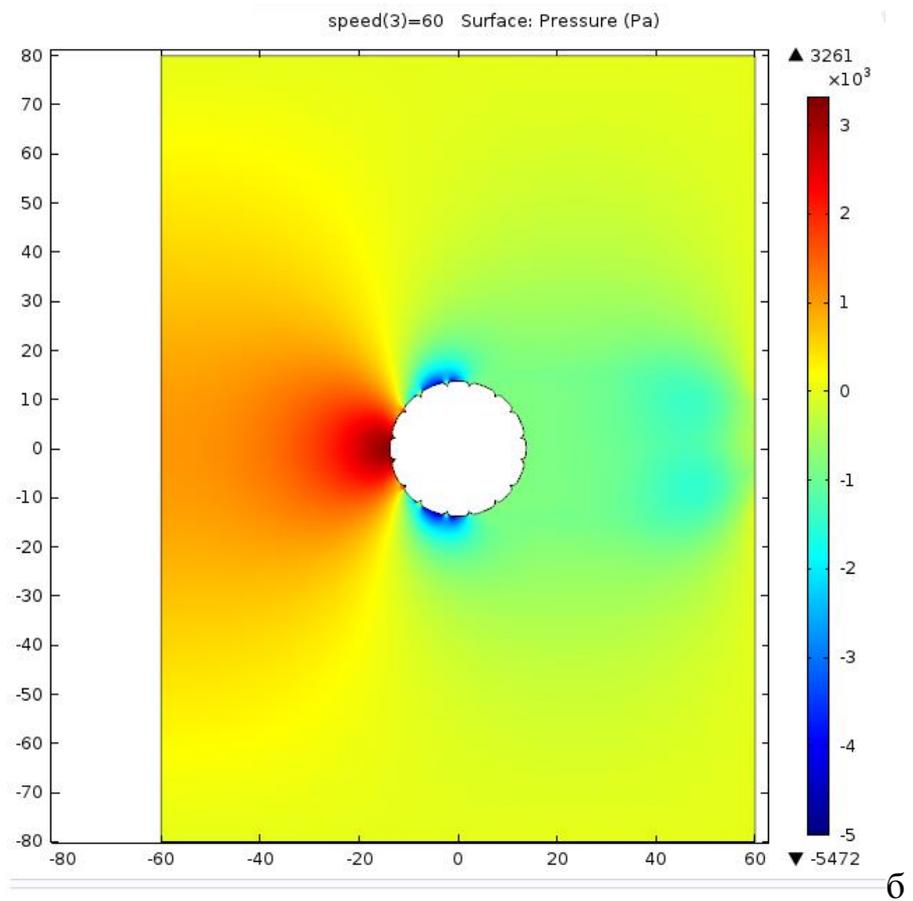
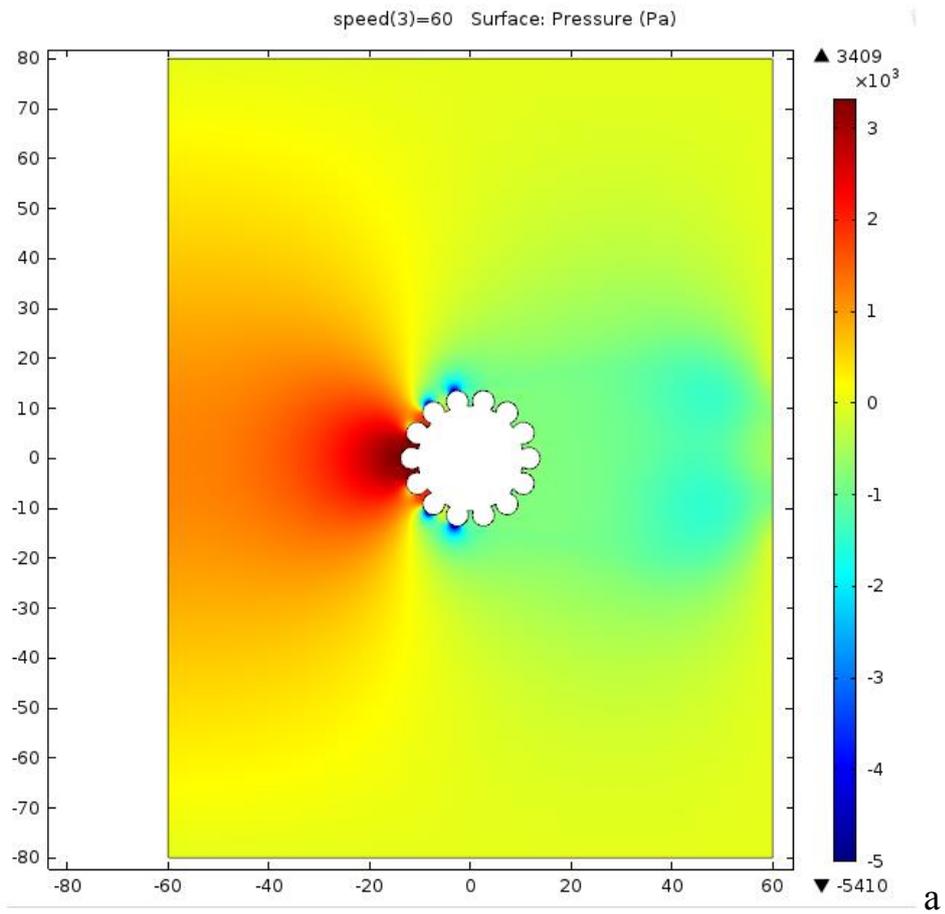


Рис. 23. Ветровое давление, действующее на провода при скорости ветра 60 м/с (особый район по ветру) : а - АС 400/64; б - АСВП 477/66

### 3. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ ПРОВОЛОК НА ФОРМИРОВАНИЕ ГОЛОЛЕДНОГО ПОКРЫТИЯ

Проблема формирования слоя льда на проводах изучалась во многих странах, климатические условия в которых могут приводить к формированию гололеда. Природа гололедно-ветровых нагрузок существенно зависит от региона строительства и достаточно сильно изменяется в зависимости от различных факторов, основными из которых являются микроклиматические особенности местности по профилю трассы воздушной линии, конструктивные особенности ВЛ (тип провода, диаметр провода, высота подвеса проводов), разнообразие форм гололедно-изморозевых отложений (ГИО), отличающихся плотностью и наветренной площадью и т.д. А последние годы большое внимание уделяется численному и экспериментальному моделированию гололедообразования. Математические формулировки задачи приводились в зарубежной и русскоязычной литературе [2-4]. Однако достоверные результаты, связывающие конструкцию провода, климатические условия и кинетику образования ледяного покрытия пока не получены. Более надежны результаты экспериментального моделирования механизма возникновения и прироста гололедно-изморозевых отложений на образцах проводов выполнялись в аэродинамических трубах или климатических установках в лаборатории CRIEPI Ishiuchi [5, 6], CIGELE Atmospheric Research Icing Wind Tunnel (CAIRWT) [7], Донбасской национальной академии строительства и архитектуры [8-11].

В Донбасской национальной академии строительства и архитектуры в климатической камере была экспериментально исследована кинетика формирования ГИО на образцах проводов следующих типов:

- марки АС (АС 150/24, АС 185/24, АС 240/32, АС 300/39, АС 450/56);
- марки Aero-Z (177-1Z, 242-2Z, 301-2Z, 366-2Z, 504-2Z) с Z-образными проволоками в наружных повивах, прочно соединенных между собой в так называемый «замок»;

– секторные сталеалюминевые провода марки AFLs (AFLs10-240).

Благодаря плотному заполнению поперечного сечения диаметр проводов марок Aero-Z и AFLs сравним с диаметром катанки такого же сечения, а поверхность провода гладкая. При одинаковом сечении сталеалюминиего провода обычной конструкции и марок Aero-Z и AFLs, наружный диаметр провода АС значительно больше. У проводов марок Aero-Z и AFLs наружная поверхность практически цилиндрическая с незначительными винтовыми канавками, которые образуются между верхними краями плотно сопряженных образных проволок. По всем этим характеристикам провода марок Aero-Z и AFLs близки к практически деформированным проводам АСВП и АСВТ, и, следовательно, результаты экспериментальных исследований образования гололеда на проводах марок Aero-Z и AFLs могут аппроксимироваться и на провода АСВП и АСВТ.

Эксперименты начинались после предварительного охлаждения климатической камеры, включения вентилятора, форсунок для создания водного потока в нагнетательном канале и выхода на температурный режим в диапазоне  $-4...-2$  °С, что соответствует природным условиям образования ГИО.

По результатам экспериментов (рис. 24, [11]), интенсивность гололедообразования на проводе AFLs ниже на 5 %, чем на АС аналогичной токовой загрузки. При этом вес гололеда на Aero-Z 242-2Z меньше на 30 %, чем на проводе АС 240/32.

По данным авторов [9-11] при всех равных условиях интенсивность образования ГИО на компактных проводах ниже на 12 % (для моделируемых условий эксперимента, соответствующих 2-му району по стенке гололеда [12]). При этом, анализируя расхождение аппроксимационных зависимостей с увеличением веса ГИО (рис. 24), необходимо сделать вывод об эффективности компактных проводов Aero-Z при использовании на ВЛ в районах с повышенными гололедными нагрузками по сравнению с традиционными сталеалюминевыми проводами.

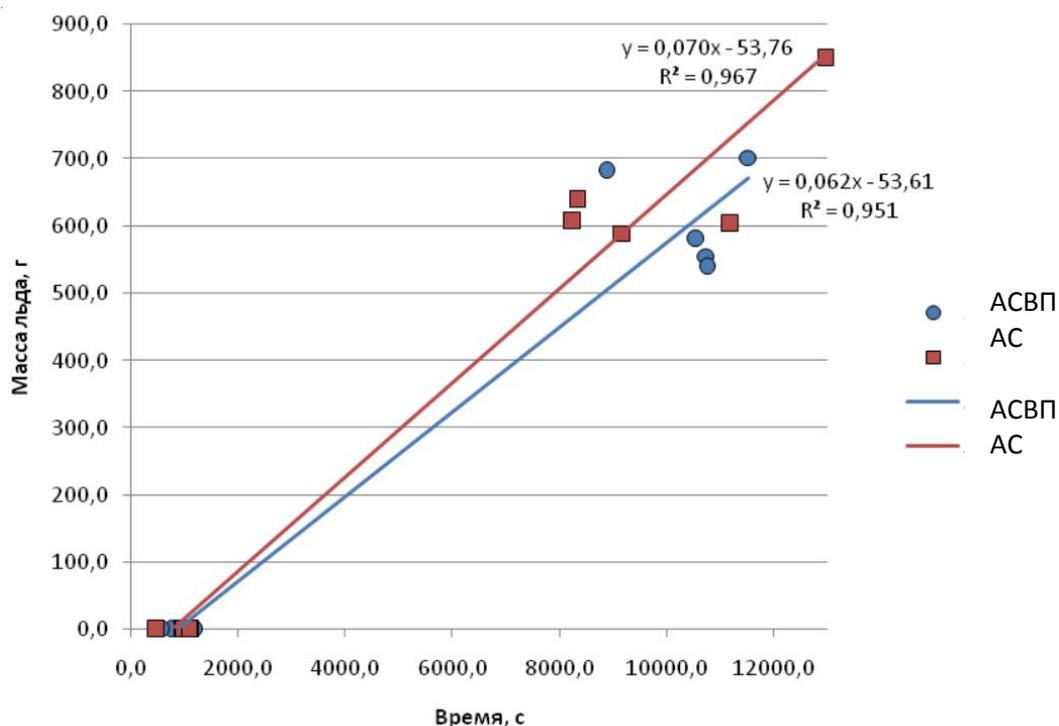


Рис. 24. Сравнение результатов о процессе образования ГИО на проводах марок **АС** и **АСВП**

Полученные экспериментальные данные в климатической камере о преимуществах компактных и секторных проводов марок Aero-Z и AFLs и сравнение их с показателями АСВП по гололедофобности, в сравнении с традиционными сталеалюминиевыми проводами марки АС, позволяют утверждать, что и у проводов типа АСВП и АСВТ одинарной свивки с линейным касанием проволок с пластически обжатými стальной и алюминиевой частями по СТО 71915393–ТУ 120–2012 скорость роста гололедного покрытия должна быть ниже, чем у проводов марки АС.

### Список использованной литературы

1. Правила Устройства Электроустановок ПЭУ (редакция 7), утвержденные приказом Министерства энергетики Российской Федерации от 8 июля 2002 г. № 204.
2. Lozowski E.P., Makkonen L. Fifty years of progress in modelling the accumulation of atmospheric ice on power network equipment // Proc. XI International Workshop on Atmospheric Icing of Structures (IWAIS), June 2005. – Montreal, 2005. – pp. 55-62.
3. Makkonen L., Lozowski E.P. Numerical Modelling of Icing on Power Network Equipment // Atmospheric Icing of Power Networks; M. Farzaneh (ed.) – Springer, 2008. –pp. 83-118.
4. Горохов Е.В. Математическая формулировка задачи об осаждении облачных капель на провода электросетевых систем / Е.В. Горохов, А.М. Алехин // «Металеві конструкції» – Макеевка, 2006. – Том 11, №3. – С. 203-207.
5. Sakamoto Y., Admirat P., Lapeyre J. L., Maccagnan M. Thermodynamic simulation of wet snow accretion under wind-tunnel conditions // Proc. IV International Workshop on Atmospheric Icing of Structures(IWAIS). – Paris, France, 1988. – pp. A6.6.
6. Admirat P. Wet Snow Accretion on Overhead Lines // Atmospheric Icing of Power Networks; M. Farzaneh (ed.) – Springer, 2008. – pp. 119-169.
7. Chen, Y., Farzaneh, M., Lozowski, E.P., and Szilder, K., "Modeling of Ice Accretion on Transmission Line Conductors // Proc. of the IX International Workshop on Atmospheric Icing of Structures (IWAIS), June 2000. – Chester, United Kingdom, 2000. – Session 7a.
8. Методика экспериментальных исследований образования гололедных отложений на проводах воздушных линий электропередачи в климатической камере /Я.В. Назим - Металеві конструкції, 2011 2011, т. 17, № 4, С.271–284.
9. Лабораторные исследования гололедообразования на сталеалюминевых проводах воздушных линий электропередачи в климатической камере

ДонНАСА /Я.В. Назим, А.А. Лещенко - Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). - Вип. 2 (30). - 2011.-ПолтНТУ. – С. 122—128.

10. Испытания на гололедофобность компактных и секторных проводов воздушных линий электропередачи в климатической камере/ Горохов Е. В., Назим Я. В., Васылев В. Н., Лях В. В.// Металлические конструкции. Том: 18 № 1 . 2012. С: 73-84

11. Rules for electrical installation. Head 2.5 «The overhead power transmission lines voltages above 1kV to 750 kV». Kyiv: OEP «GRIFRE», 2006. 125 p.