

Министерство образования и науки Российской Федерации
ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ВолгГТУ)

УДК 669.71

№ гос. регистрации

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор ВолгГТУ

д-р хим. наук профессор

 А.В. Павлов

« 9 2017г.



ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

«Моделирование зависимости ветрового напора на пластически обжатые сталеалюминиевые неизолированные провода АСВП СТО 71915393–ТУ 120–2012 с площадью сечения алюминиевых проволок 371–461 мм²»

(Заключительный)

Начальник Управления науки
и инновации, д-р. техн. наук,
профессор



Н.А. Кидалов

Заведующий кафедрой МВ,
руководитель работы
д-р. техн. наук, доцент



Л.М. Гуревич

Волгоград 2017

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. Общие сведения о методике учета влияния ветрового давления при расчете воздушных линий в соответствии с нормативной документацией.....	3
2 Расчет изменения скорости потока ветра и ветрового напора вблизи проводов различной конструкции.....	13

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТОДИКЕ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ ВЕТРОВОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ РАСЧЕТЕ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ В СООТВЕТСТВИЕ 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 расчете 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,

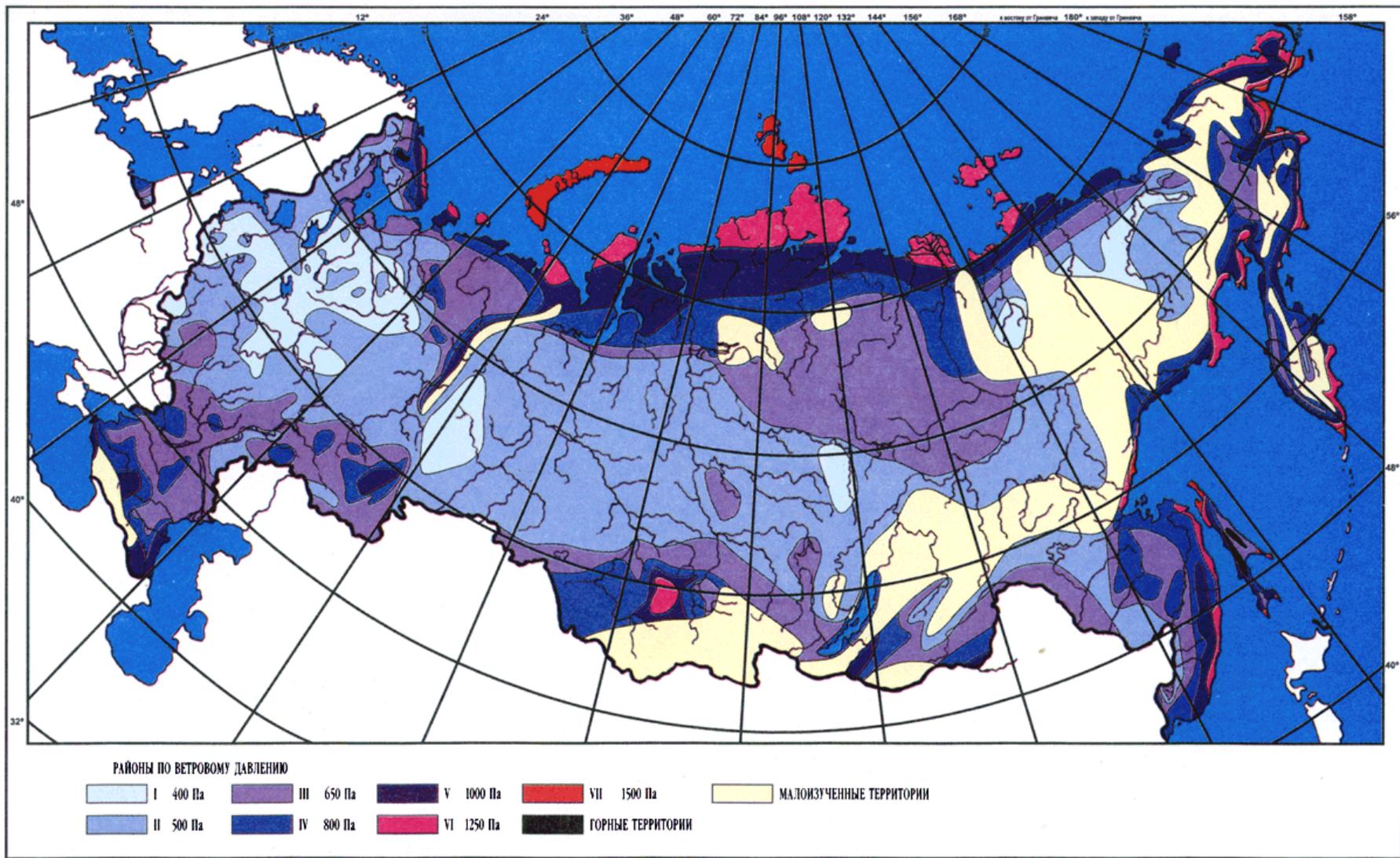


Рис. 1. Карта районирования территории РФ по ветровому давлению

на высоте 10 м над поверхностью земли принимается по табл. 1 [1] 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° к оси ВЛ. При расчете опор ветер следует принимать направленным под углом 0° , 45° и 90° 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 α_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 α_w	1,0	0,94	0,88	0,85	0,83	0,80	0,76	0,71	0,70

Промежуточные значения α_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);

φ - 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) $F_{W\Pi}^H$ при механическом расчете проводов и тросов по методу допускаемых напряжений определяется по формуле, Н

$$F_{W\Pi}^H = F_W^H \gamma_{лв} \gamma_p \gamma_f, \quad (5)$$

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

$\gamma_{лн}$ - 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;

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

γ_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, Ω -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).

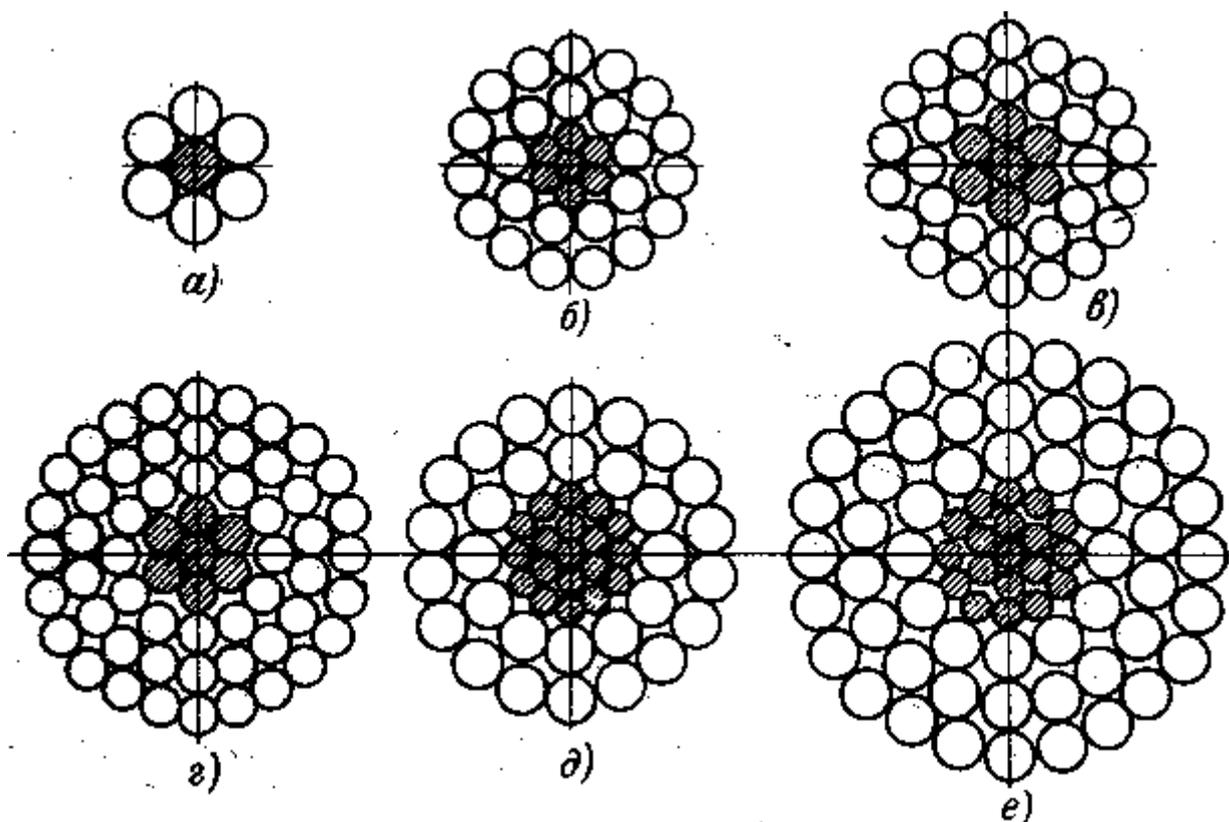


Рис. 2. Поперечное сечение проводов сталеалюминиевых неизолированных марки АС с различным количеством проволок в повивах

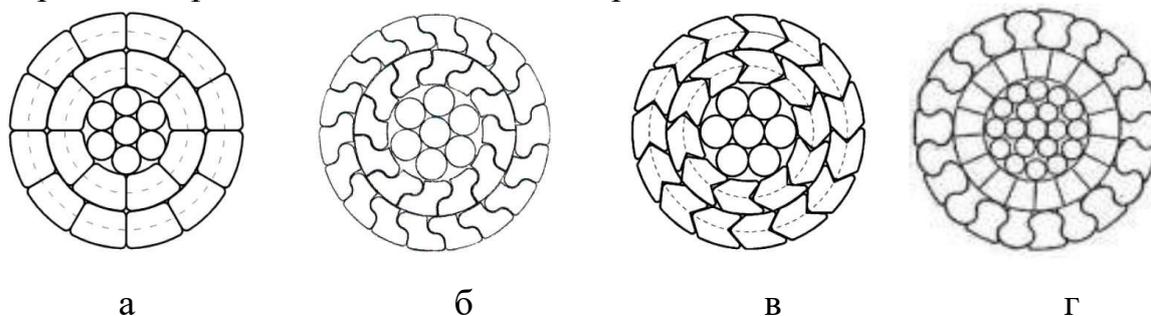


Рис. 3. Поперечное сечение инновационных конструкций проводов сталеалюминиевых неизолированных из различных форм проволок наружных повивов: а – трапецеидальная, б - Z-образные, в – стреловидные, г – омегаобразные

Еще одной группой проводов сталеалюминиевых неизолированных с низким аэродинамическим сопротивлением стали провода типа АСВП и АСВТ одинарной свивки с линейным касанием проволок, с пластически обжатыми стальной и алюминиевой частями, которые производятся по СТО

71915393–ТУ 120–2012, пример одной из конструкции которых приведен на рис. 4.

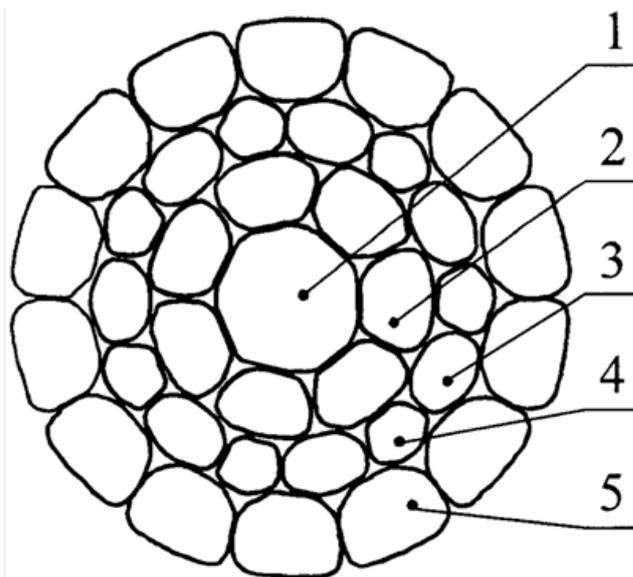


Рис. 4. Поперечное сечение провода типа АСВП:

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 с использованием метода конечных элементов взаимодействия ветрового потока с проводами близких диаметров (см. табл. 1):

провод марки АС 400/93 ГОСТ 839-80;

пластически обжатые провода типа АСВП или АСВТ 461/64, 389/59, 403/61, 371/109 СТО 71915393–ТУ 120–2012.

Таблица 1. Конструктивные элементы моделируемых проводов

Номинальное сечение, мм ²	Диаметр, мм						
	провод	стальной сердечник			алюминиевая часть		
		центр	1-й слой	2-й слой	1 слой	2 слой	
1	2	3	4		5	6	7
АС 400/93 ГОСТ 839-80	29,1	2,50	6 шт 2,50	12 шт 2,50	12 шт 4,15	18 шт 4,15	
АСВП или АСВТ 461/64 СТО 71915393– ТУ 120–2012	26,91	3,65	6 шт 3,40	-	8 шт 5,70	8 шт 5,15	8 шт 3,80
АСВП или АСВТ 389/59 СТО 71915393– ТУ 120–2012	24,75	4,00	7 шт 2,90	-	8 шт 5,20	8 шт 4,75	8 шт 3,50
АСВП или АСВТ 403/61 СТО 71915393– ТУ 120–2012	25,20	4,10	7 шт 2,95	-	8 шт 5,30	8 шт 4,85	8 шт 3,55
АСВП или АСВТ371/109 СТО 71915393– ТУ 120–2012	26,00	5,50	7 шт 3,95	-	14 шт 3,35	14 шт 4,8	-

2. МОДЕЛИРОВАНИЕ 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.

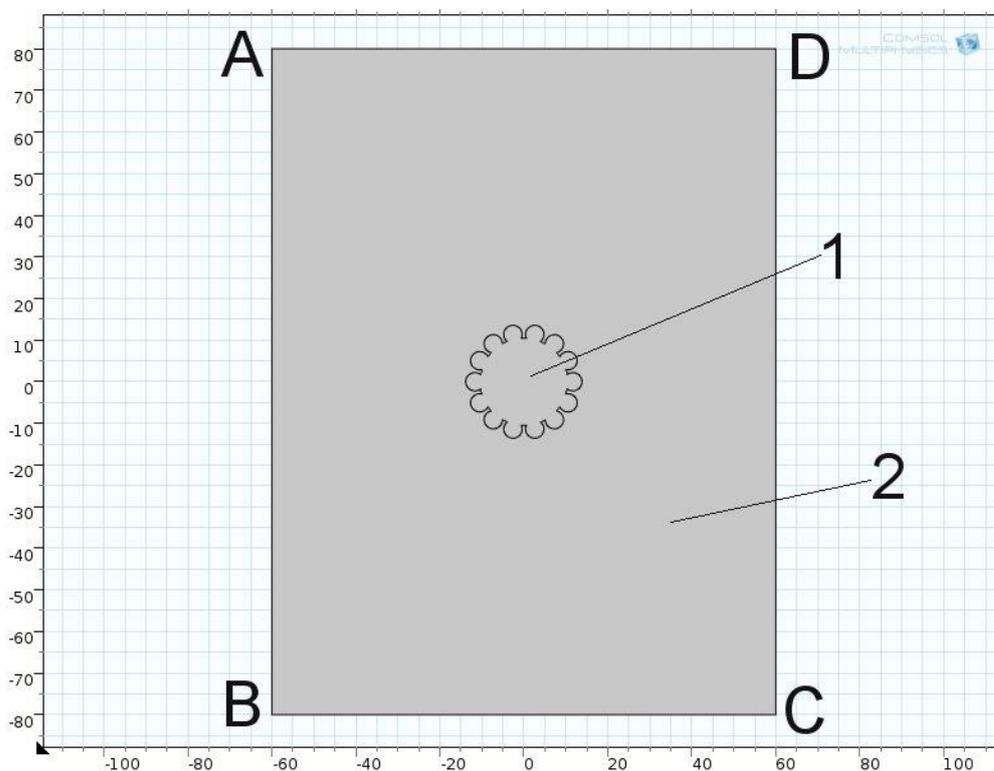


Рис. 5. Геометрия модели, использованной в данном исследовании:
1 – сечение провода, 2 – воздух,двигающийся с заданной скоростью

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

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

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

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

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

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

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

где \mathbf{u} – скорость воздуха, ∇ – оператор Набла, ρ – плотность воздуха, μ – динамическая вязкость, k – кинетическая энергия турбулентного потока, ω – удельная скорость рассеивания, a , σ_ω^* , σ_k^* , β_0 , β_0^* , \mathbf{I} – интенсивность турбулентного потока.

Были выбраны следующие граничные условия:

на грани АВ установлено значение скорости ветра:

$$U_{AB} = U_0,$$

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 U_{AB} , относящихся к I, II, III, IV, V, VI 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_w^H , 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.

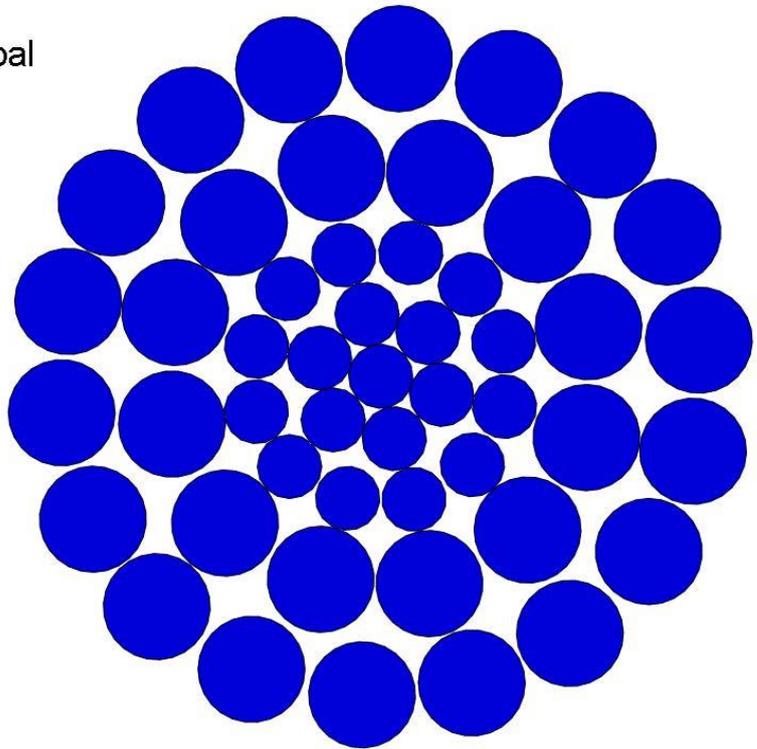
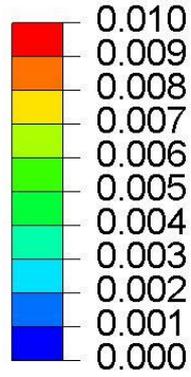
Моделирование процесса пластического деформирования стале-алюминиевых проводов проводилось с использованием модуля Abaqus/Explicit программного комплекса SIMULIA/Abaqus компании Abaqus, Inc. (USA), использующего явную схему интегрирования для сильно нелинейных переходных быстротекущих динамических процессов. Расчет проводился с использованием модели Мизеса. Материалы элементов деформируемой системы задавались изотропными с повышающимися пределами текучести $\sigma_{0,2}$ при росте локальной пластической деформации. Для расчета упрочнения материалов в результате пластического деформирования использовали модель пластичности Джонсона–Кука [2]. Значения параметров модели пластичности Джонсона–Кука для выбранных материалов, взятые из работ [3, 4], приведены в табл. 2. Влияние скорости деформирования в связи с низким значением (менее $0,0025 \text{ сек}^{-1}$) не учитывалось.

Таблица 2 - Коэффициенты для модели пластичности Джонсона–Кука [3, 4]

Материал	Коэффициенты для модели пластичности Джонсона–Кука						
	A, МПа	B, МПа	m	n	$\dot{\epsilon}_0$, сек ⁻¹	T_m , K	T_r , K
Алюминий	60,0	6,4	0,859	0,62	1	933	293
Сталь	1140	1140	1,04	0,36	1	1943	293

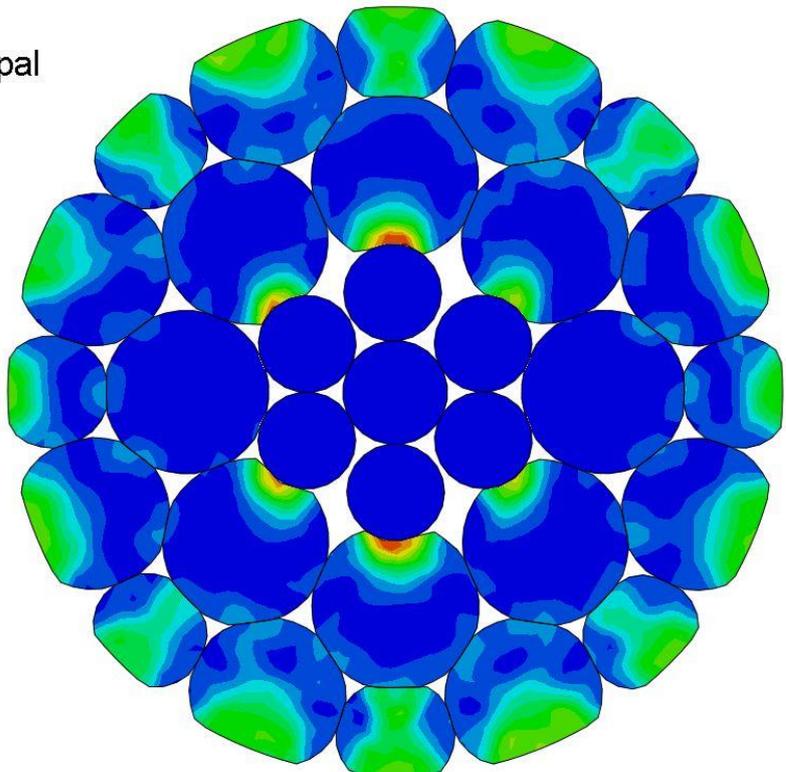
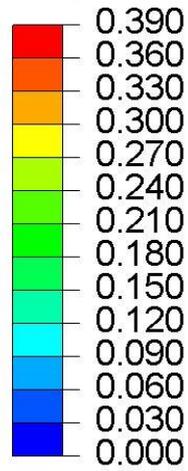
Полученные контуры проводов в результате обжатия до заданного диаметра и цветовая визуализация распределения пластических деформаций по элементам провода показаны на рис. 6.

PE, Max. Principal
(Avg: 75%)



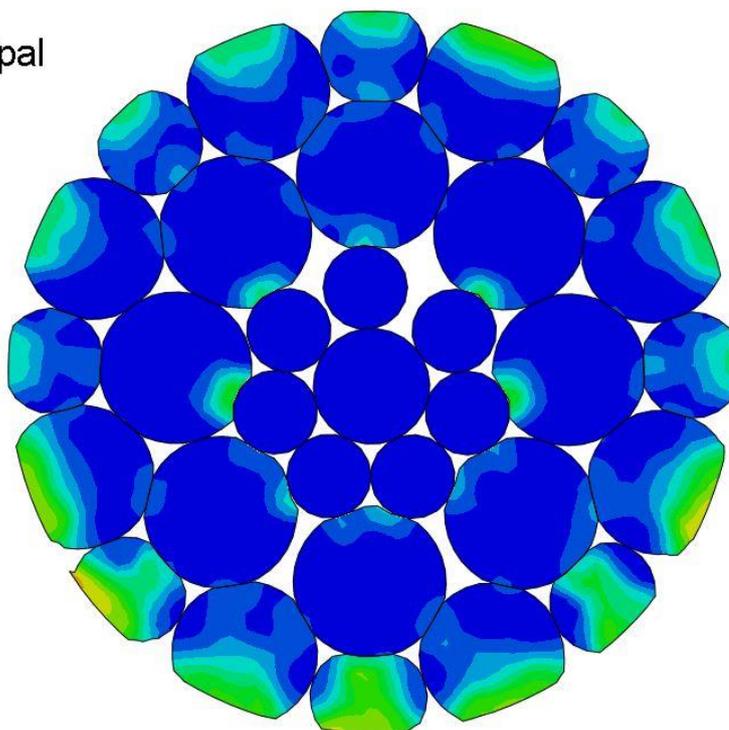
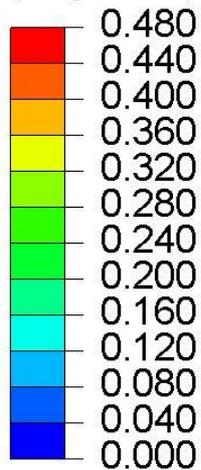
провод АС 400/93

PE, Max. Principal
(Avg: 75%)



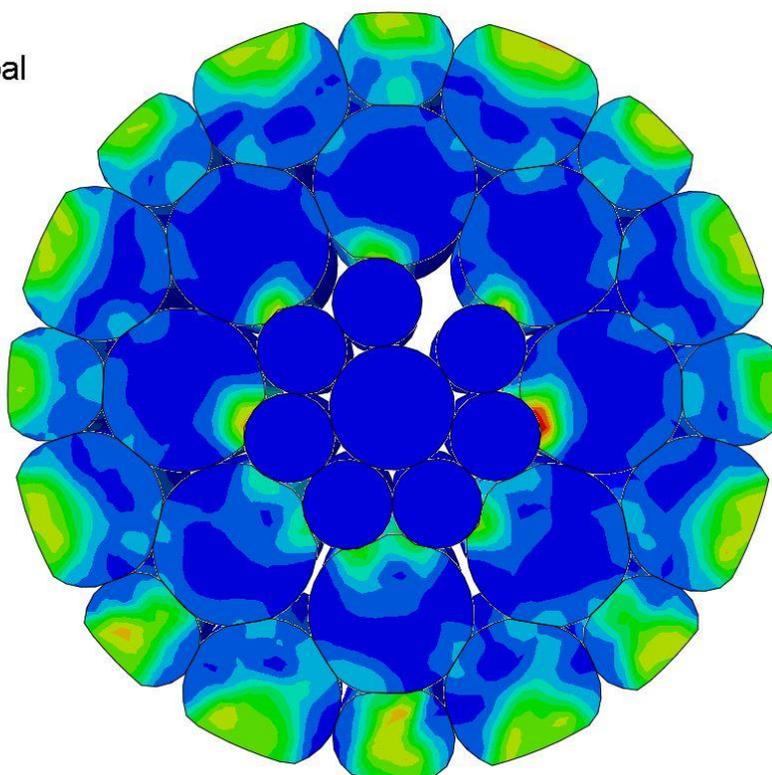
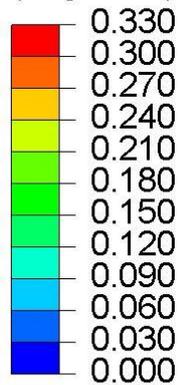
провод АСВП или АСВТ 461/64

PE, Max. Principal
(Avg: 75%)

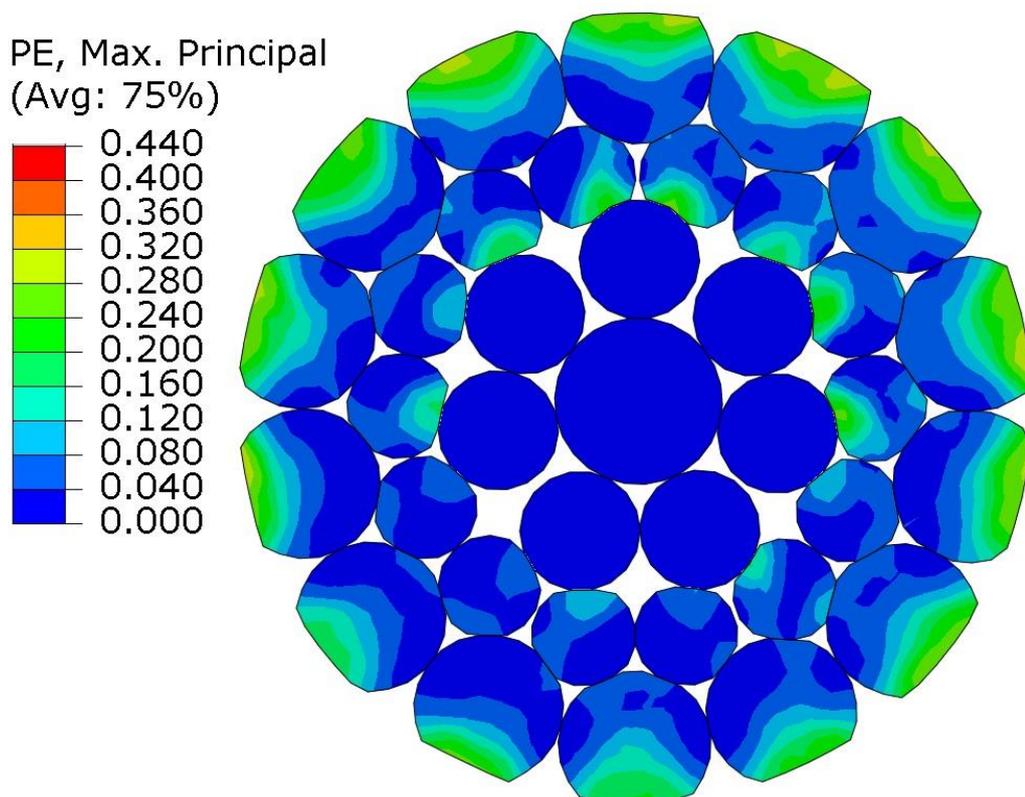


провод АСВП или АСВТ 389/59

PE, Max. Principal
(Avg: 75%)



провод АСВП или АСВТ 403/61



провод АСВП или АСВТ 371/109

Рис. 6. Контуры проводов, полученные в результате моделирования обжатия до заданного диаметра, и распределение пластических деформаций

У всех проводов АСВП или АСВТ алюминиевые проволочки внешнего повива плотно без зазоров прилегают друг к другу, что позволяет моделировать в COMSOL Multiphysics воздействие ветра на единую систему с одним внешним контуром. Используя полученные контуры проводов были созданы их образы формата dxf в программе Autocad, которые затем импортировались для расчета в программу COMSOL Multiphysics. Цветовая визуализация изменения скорости ветрового потока и давления в нем показаны на рис. 7- 22.

Результаты расчета действующей на провод ветровой нагрузки представлены в таблице 3.

В таблице 4 приведены относительные значения ветровых нагрузок на пластически обжатые провода АСВП или АСВТ по сравнению с проводом АС400/93 при одинаковых скоростях воздушных потоков.

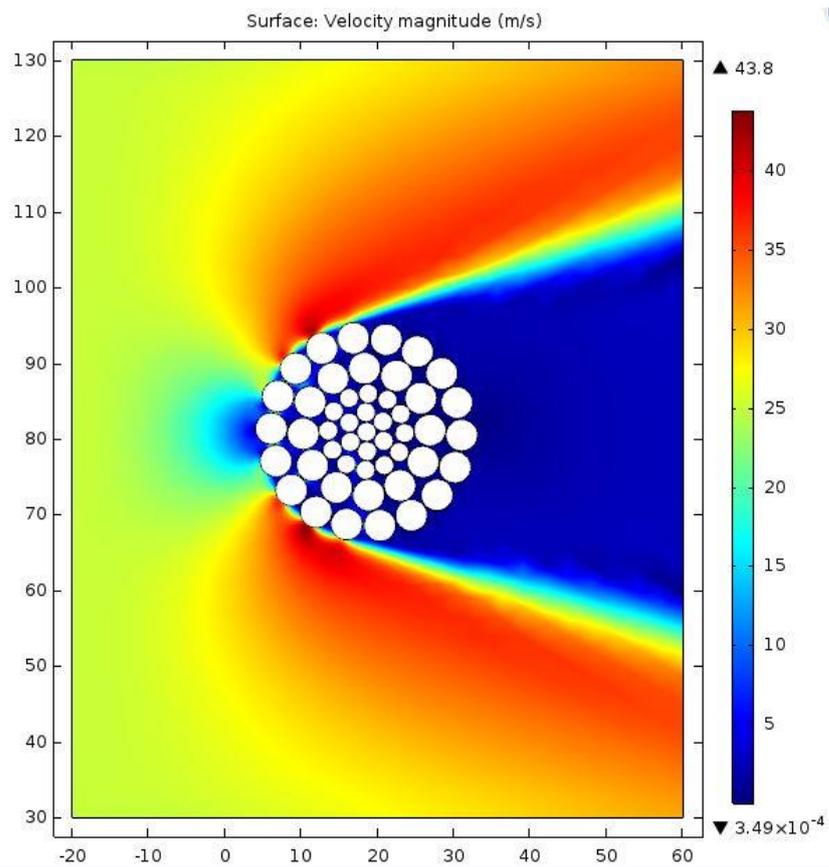
Таблица 3 – Значения приведенных давлений, действующих на провода с различным контуром поперечного сечения в зависимости от скорости воздушного потока.

Марка провода	Ветровая нагрузка, действующая на провода при скорости U_{AB} , м/с					
	25	29	32	36	40	60
АС 400/93	9.99	13.5	16.48	20.96	26	60.6
АС 400/93 поворот на 90°	9.32	12.57	15.35	19.51	24.2	56.38
АСВП или АСВТ 461/64	8.81	11.88	14.49	18.4	22.81	52.66
АСВП или АСВТ 389/59	7.43	10.01	12.2	15.49	19.18	44.37
АСВП или АСВТ 403/61	8.16	11	13.42	17.04	21.12	48.68
АСВП или АСВТ 371/109	8.93	12.04	14.69	18.66	23.12	53.41

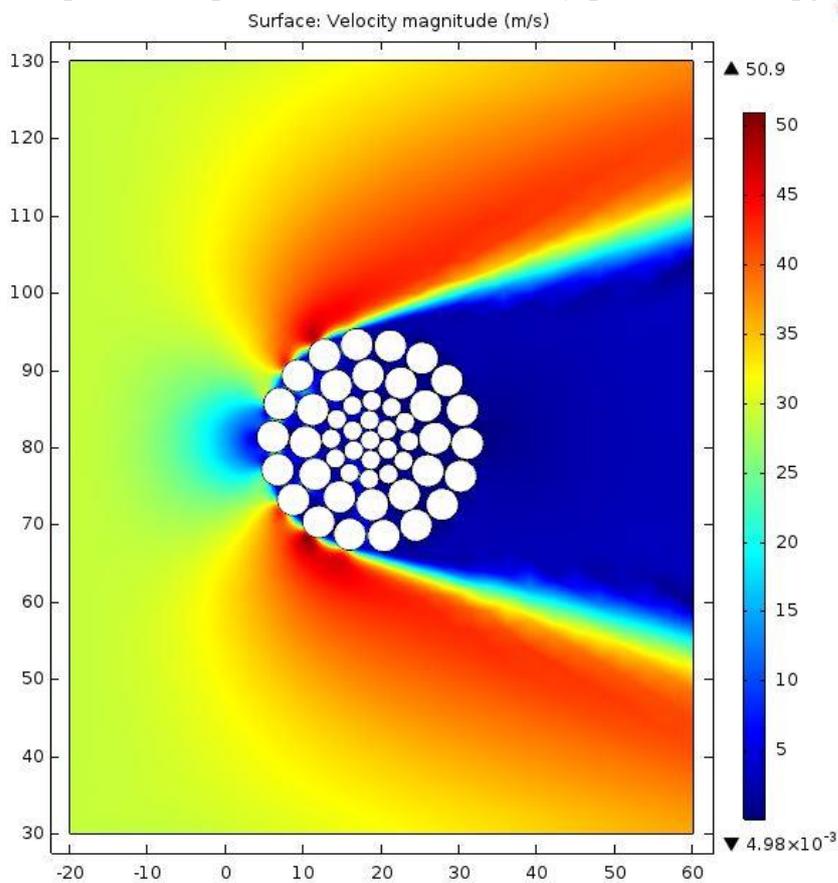
Таблица 4 – Значения приведенных давлений, действующих на провода с различным контуром поперечного сечения в зависимости от скорости воздушного потока.

Марка провода	Ветровая нагрузка, действующая на провода при скорости U_{AB} , м/с					
	25	29	32	36	40	60
АСВП или АСВТ 461/64	0.88	0.88	0.88	0.88	0.87	0.87
АСВП или АСВТ 389/59	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,73
АСВП или АСВТ 403/61	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81	0,80
АСВП или АСВТ 371/109	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,88

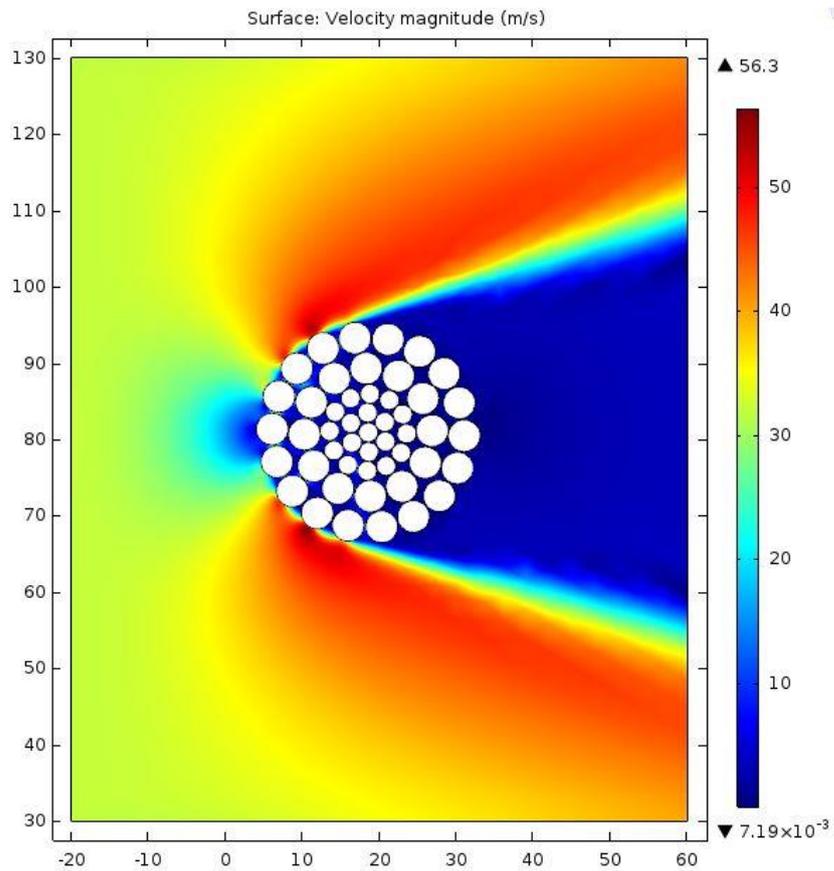
Анализ таблицы 4 показывает, что применение пластического обжатия проводов АСВП (или АСВТ) СТО 71915393–ТУ 120–2012 позволяет снизить ветровую нагрузку на провода на 10-26% по сравнению с традиционными проводами типа АС ГОСТ 839-80 с близкими значениями площади алюминиевых слоев.



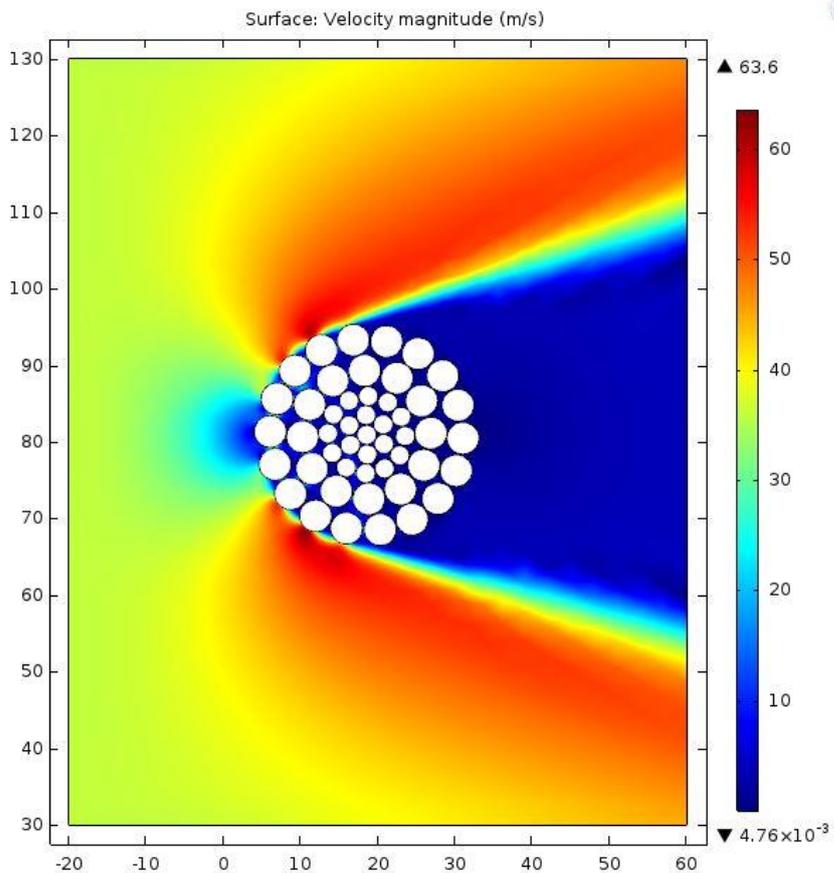
скорость ветрового потока 25 м/с (I район по ветру)



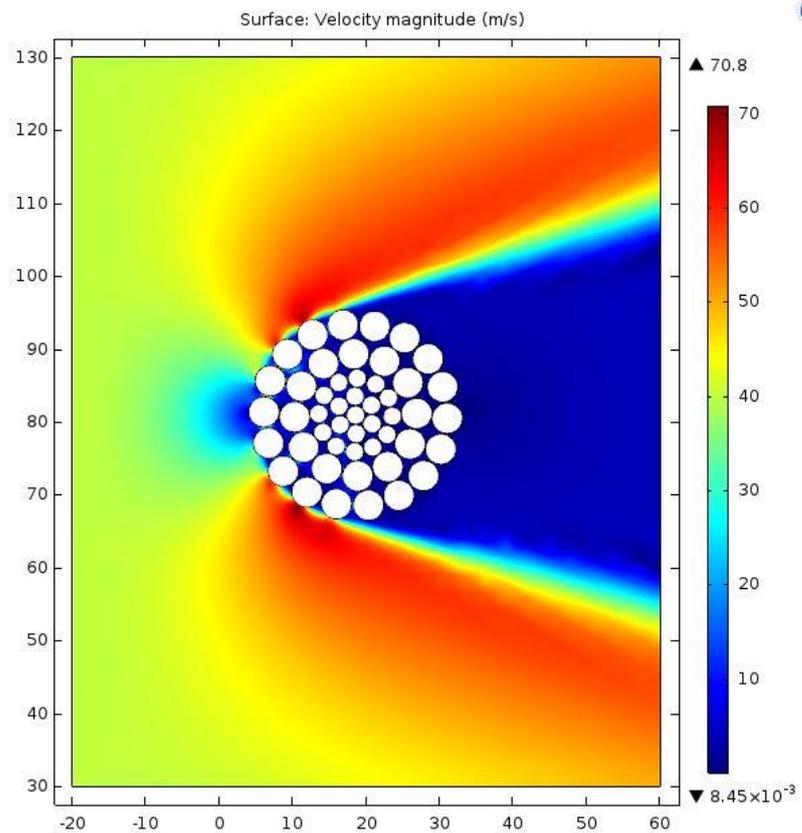
скорость ветрового потока 29 м/с (II и III районы по ветру)



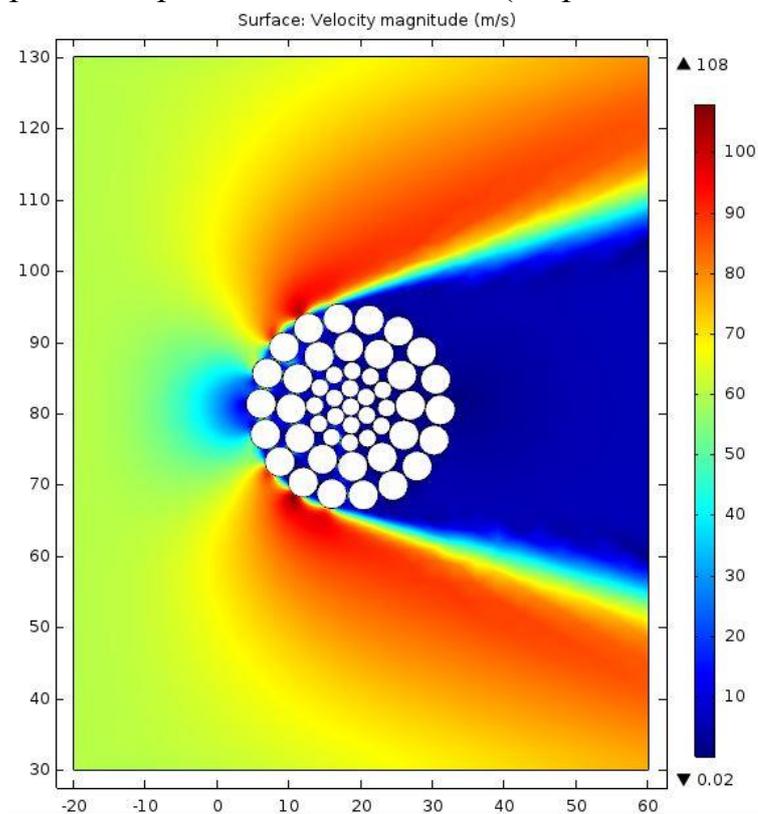
скорость ветрового потока 32 м/с (IV район по ветру)



скорость ветрового потока 36 м/с (V район по ветру)

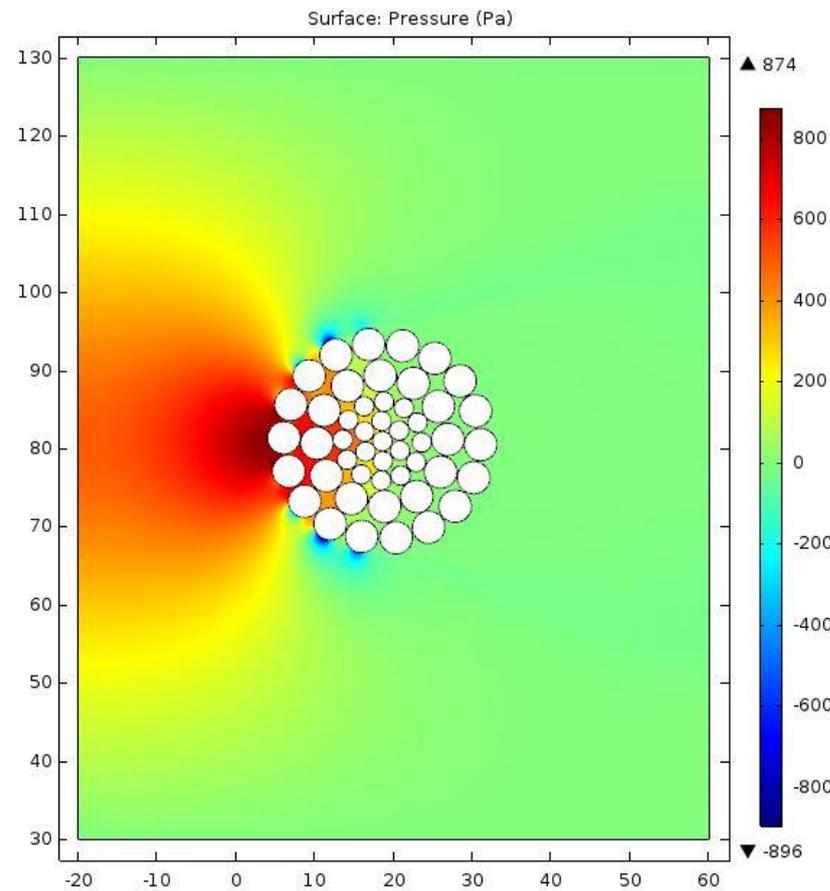


скорость ветрового потока 40 м/с (VI район по ветру)

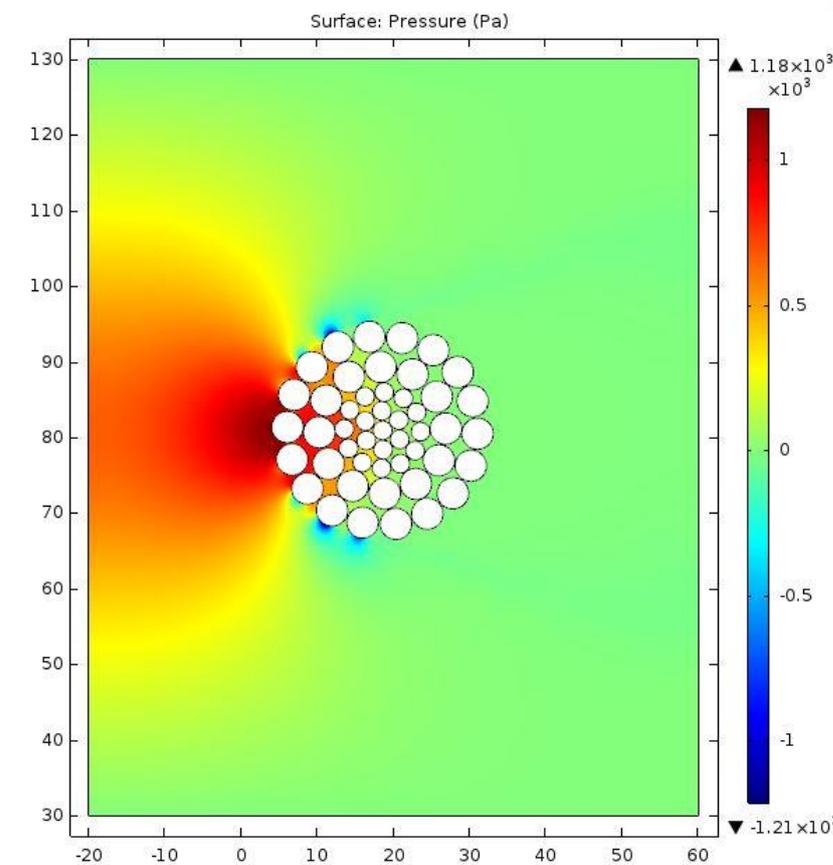


скорость ветрового потока 60 м/с (особый район по ветру)

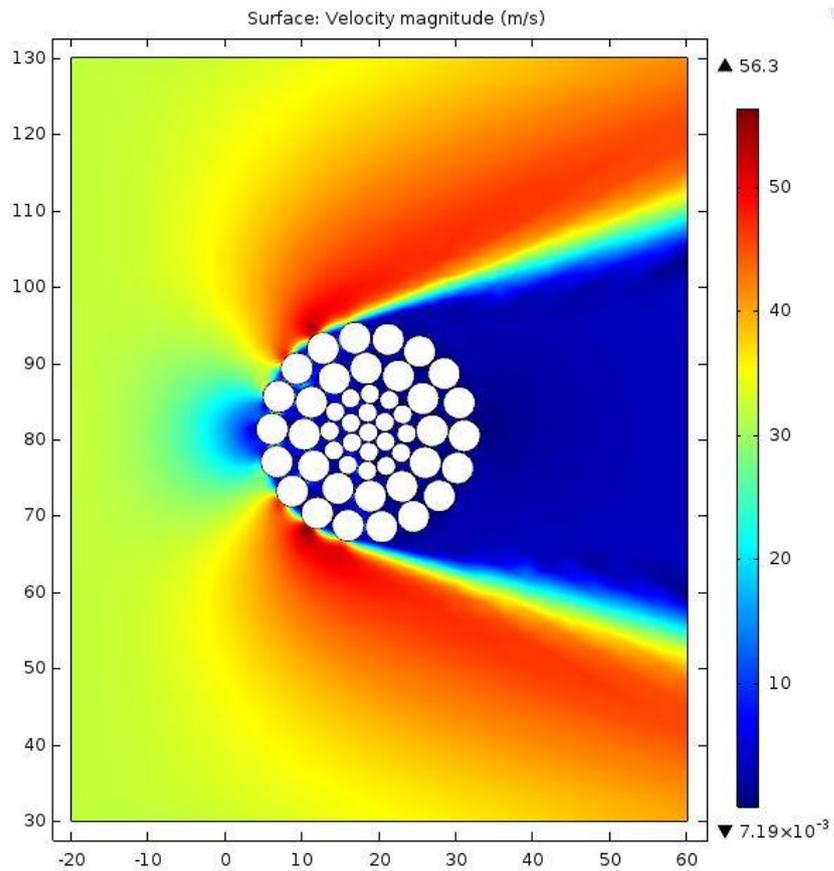
Рисунок 7. Визуализация результатов проведенных расчетов распределения скорости в воздушном потоке при обтекании провода АС 400/ГОСТ 839-80



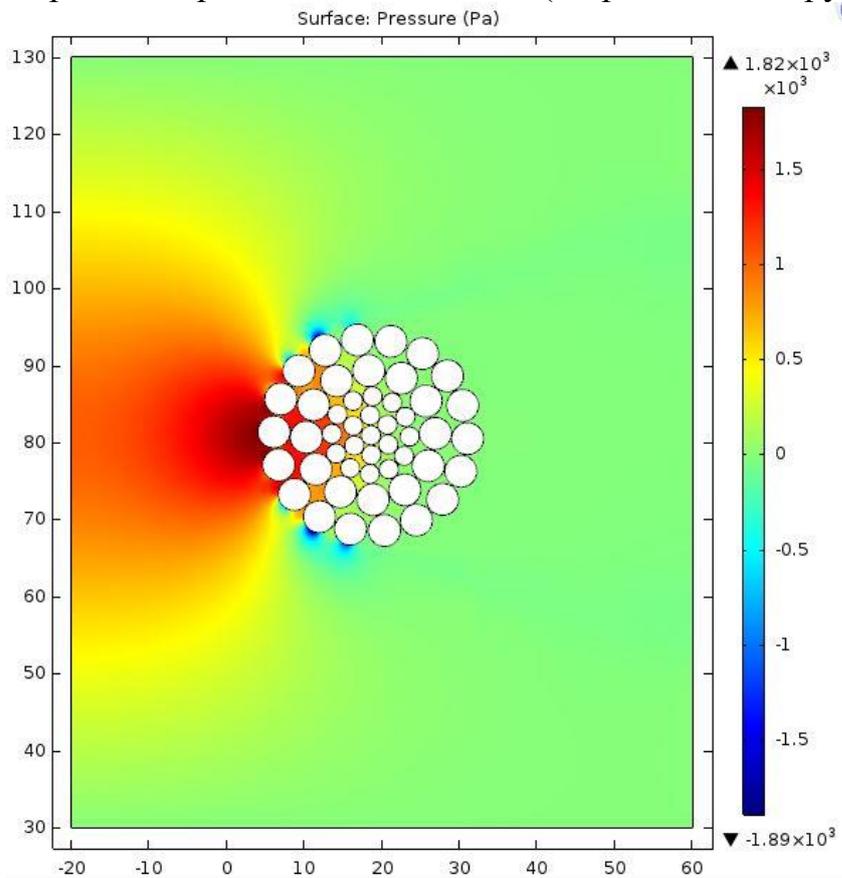
скорость ветрового потока 25 м/с (I район по ветру)



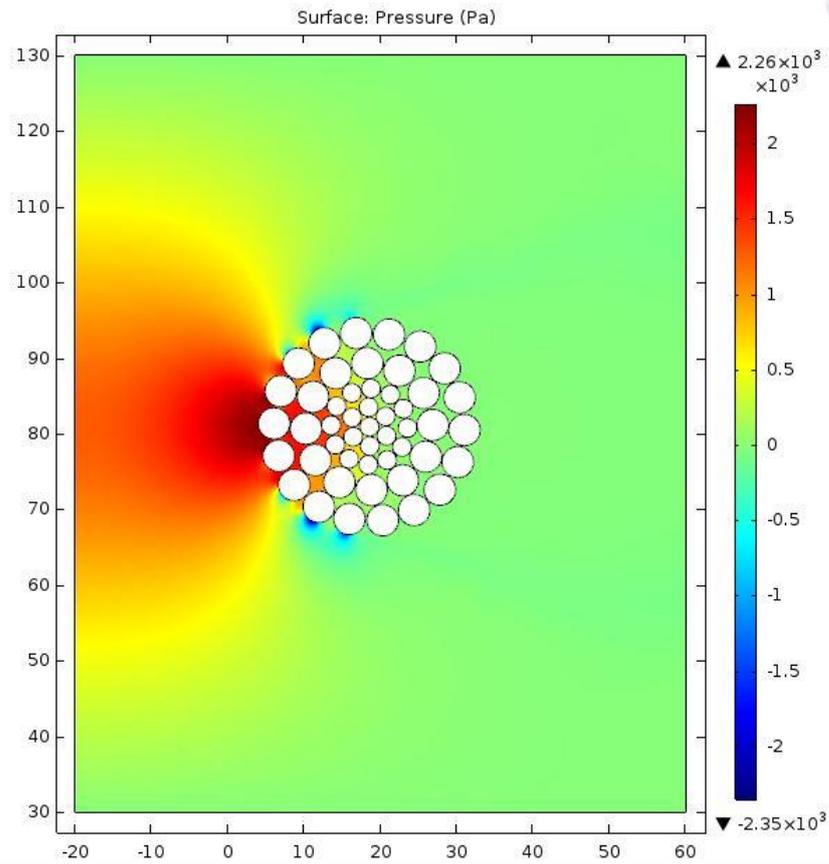
скорость ветрового потока 29 м/с (II и III районы по ветру)



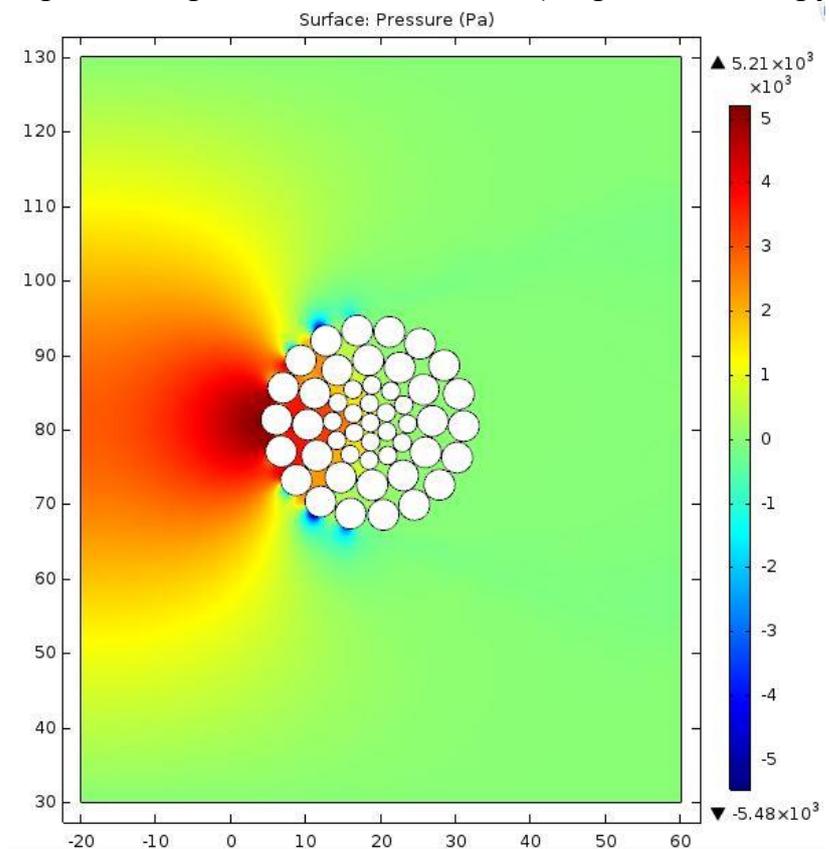
скорость ветрового потока 32 м/с (IV район по ветру)



скорость ветрового потока 36 м/с (V район по ветру)

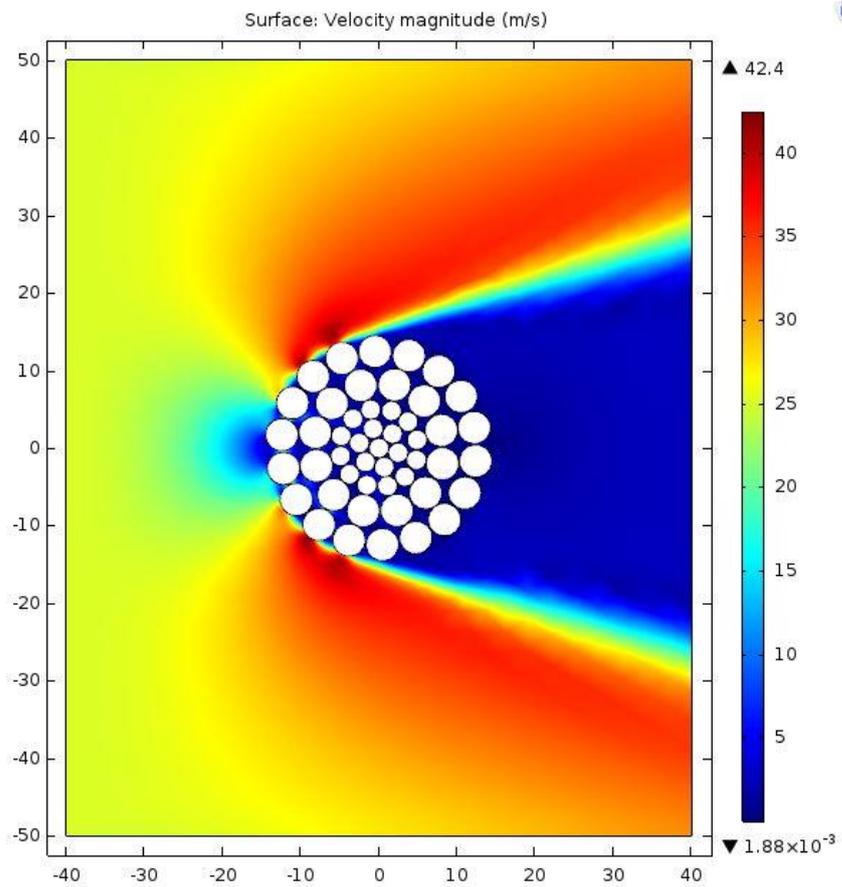


скорость ветрового потока 40 м/с (VI район по ветру)

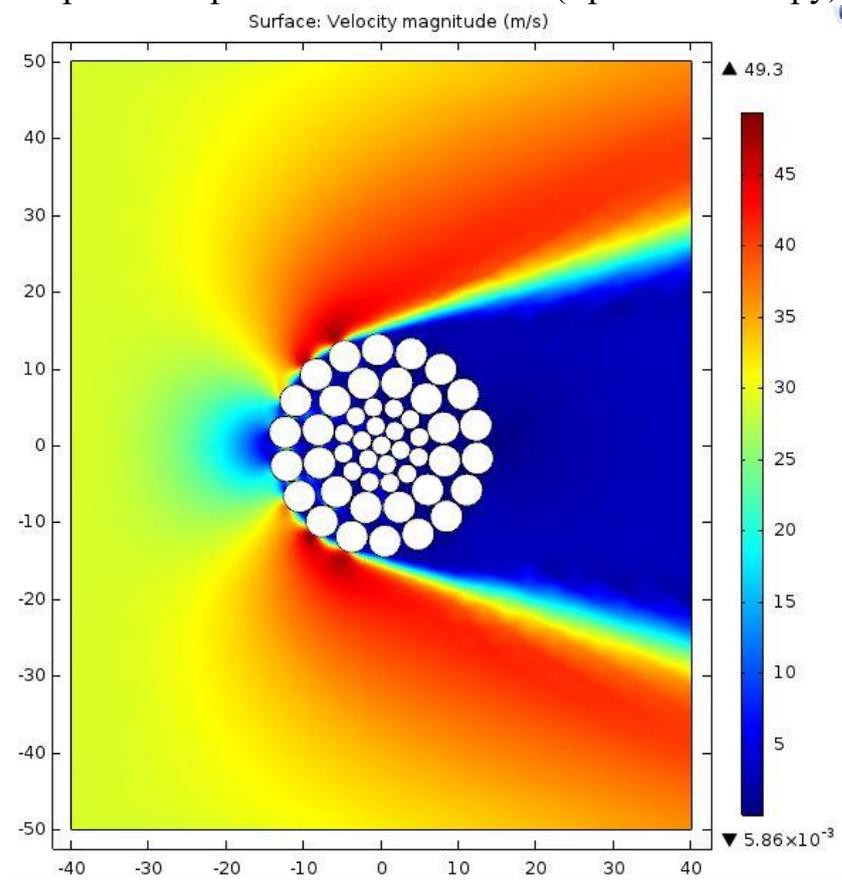


скорость ветрового потока 60 м/с (особый район по ветру)

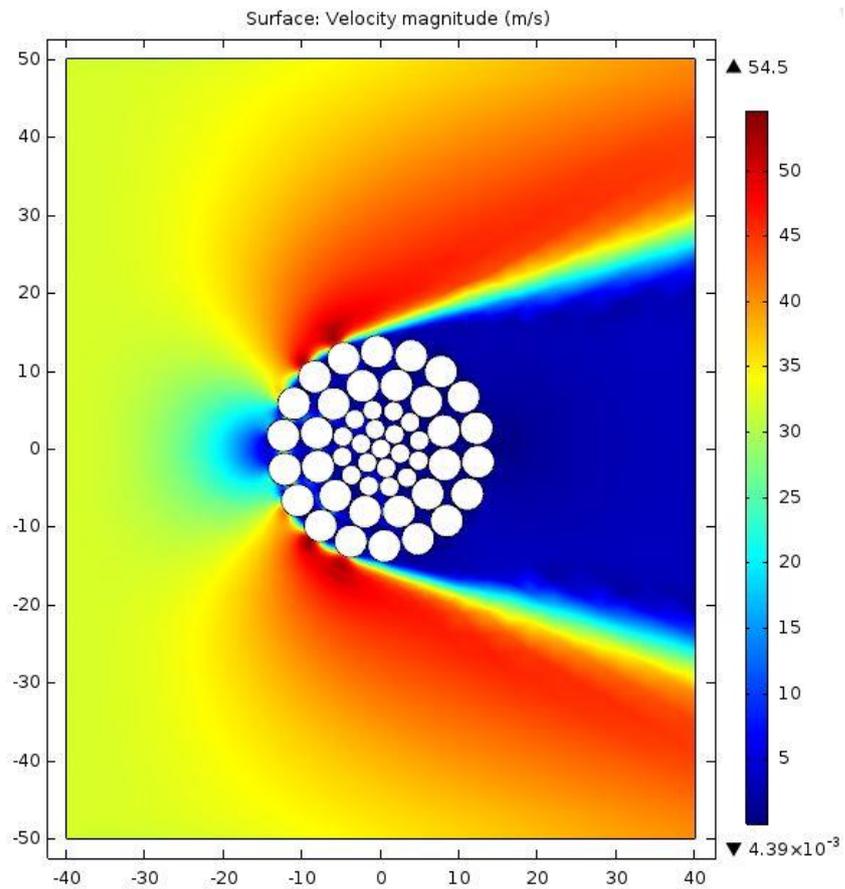
Рисунок 8. Визуализация результатов проведенных расчетов распределения давления в воздушном потоке при обтекании провода АС 400/ ГОСТ 839-80



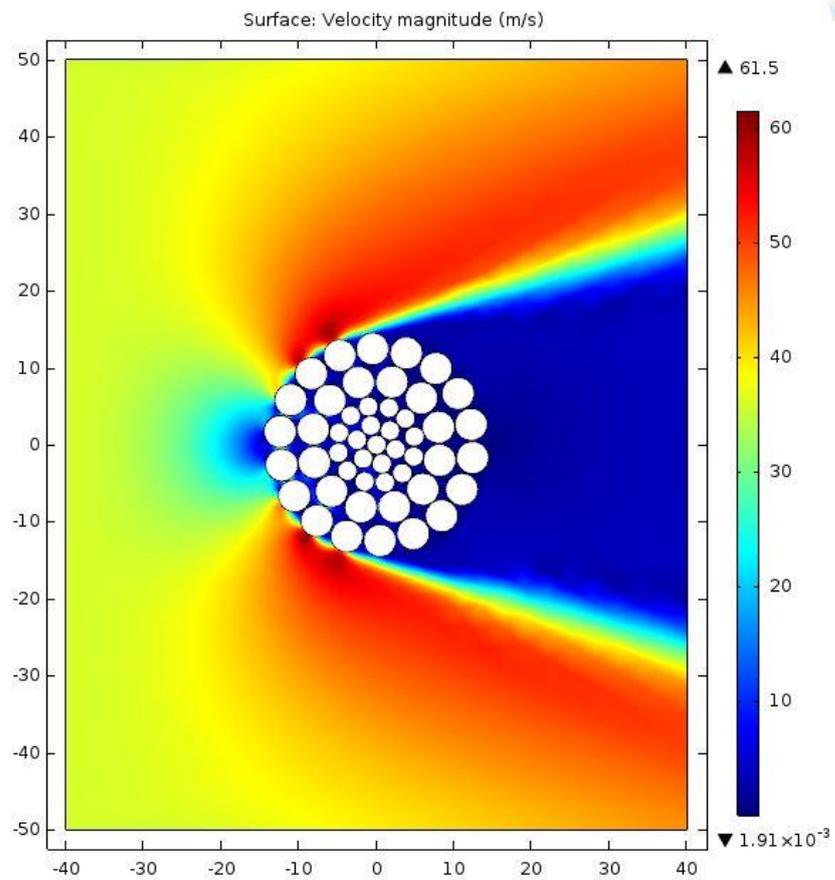
скорость ветрового потока 25 м/с (I район по ветру)



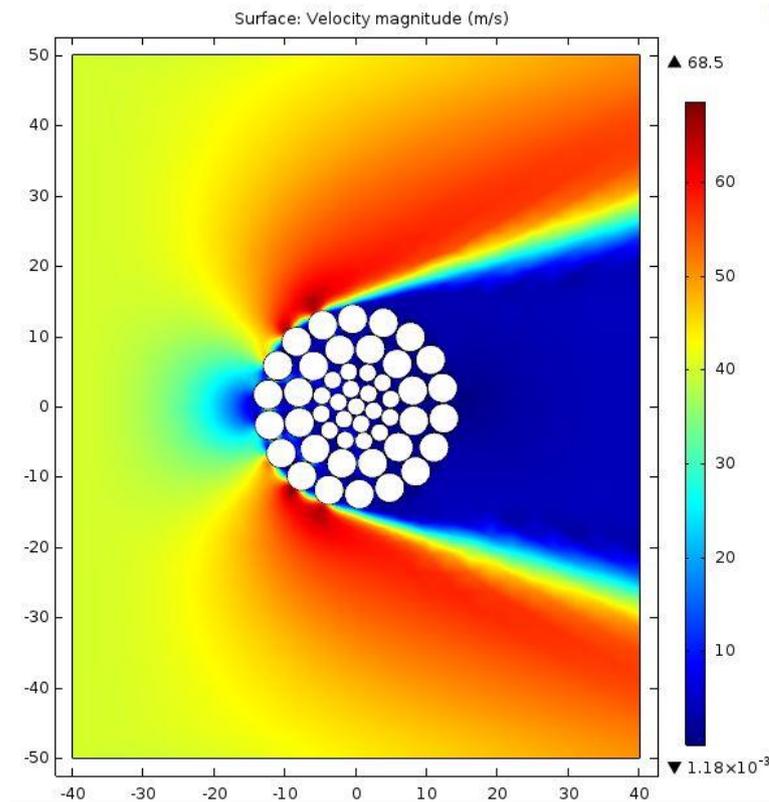
скорость ветрового потока 29 м/с (II и III районы по ветру)



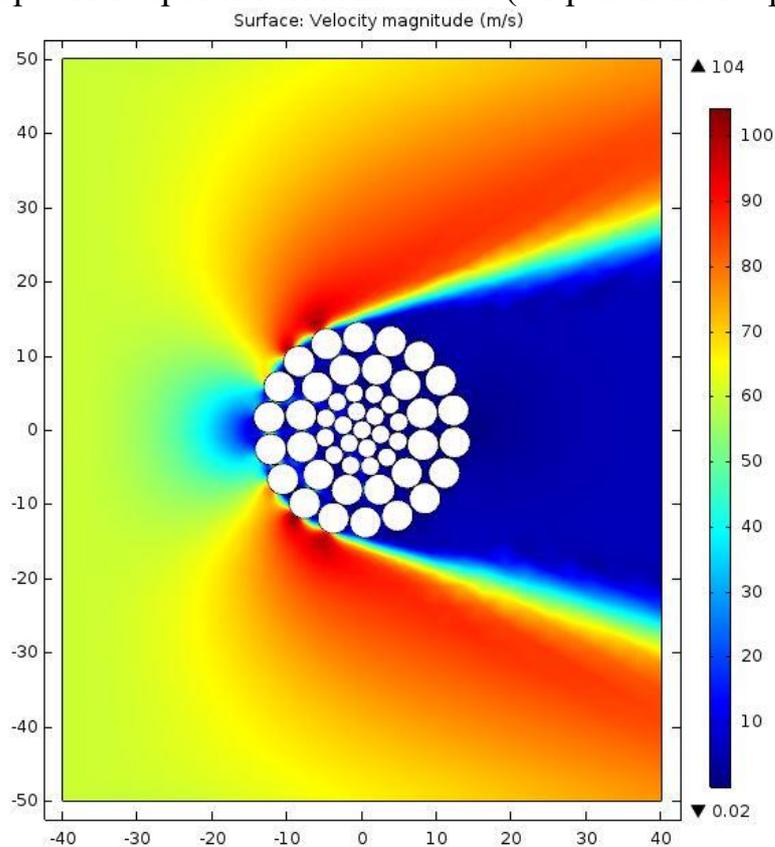
скорость ветрового потока 32 м/с (IV район по ветру)



скорость ветрового потока 36 м/с (V район по ветру)

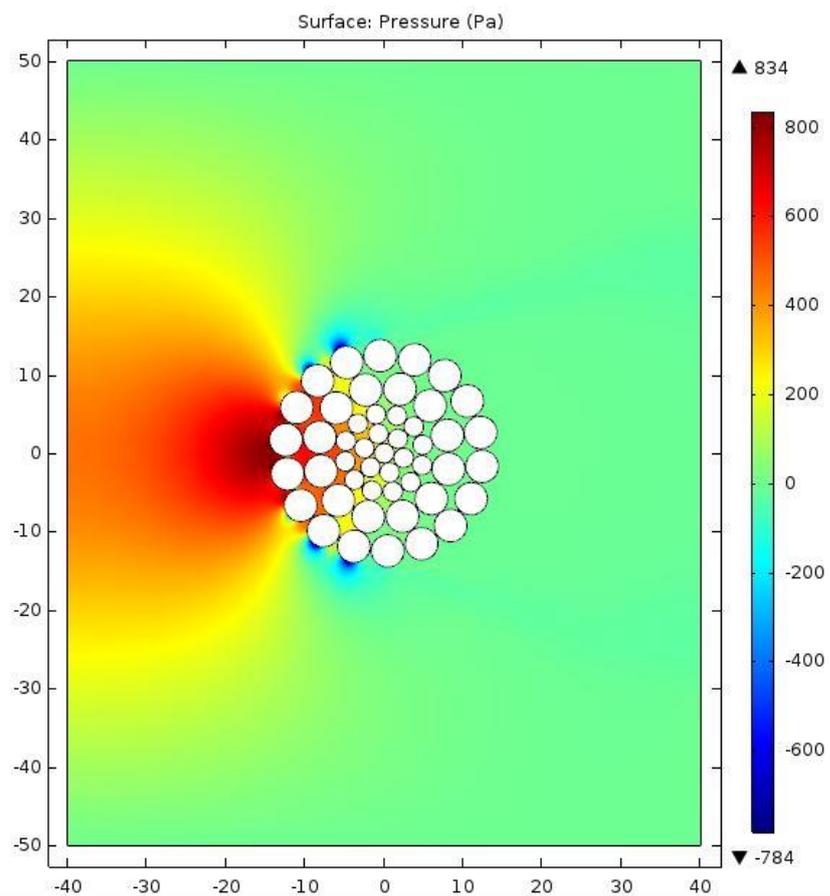


скорость ветрового потока 40 м/с (VI район по ветру)

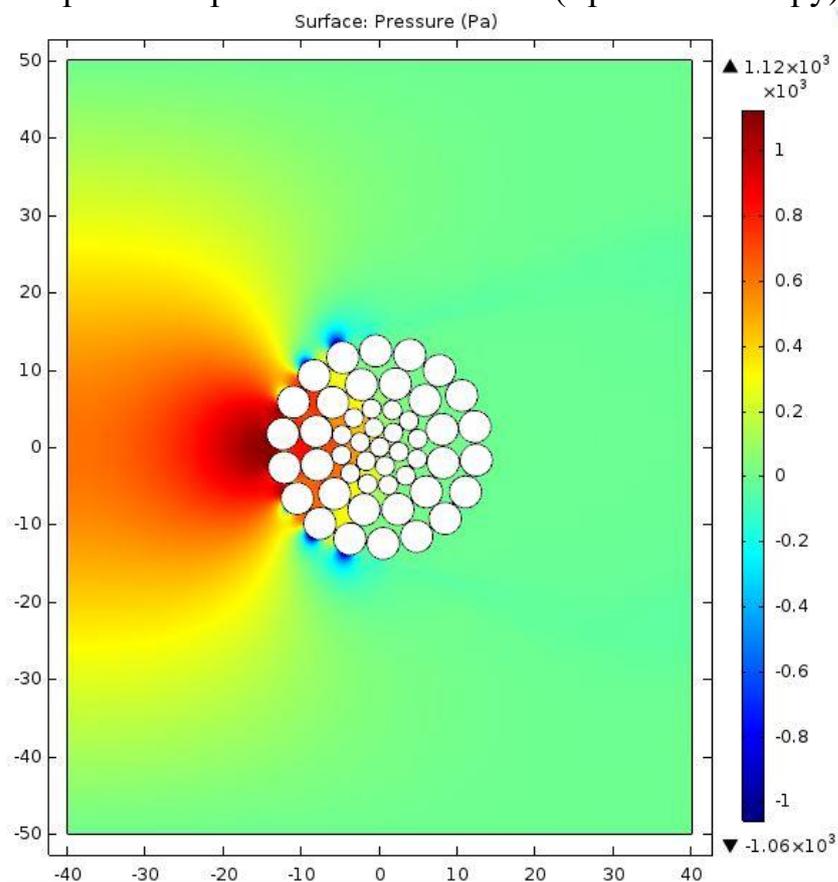


скорость ветрового потока 60 м/с (особый район по ветру)

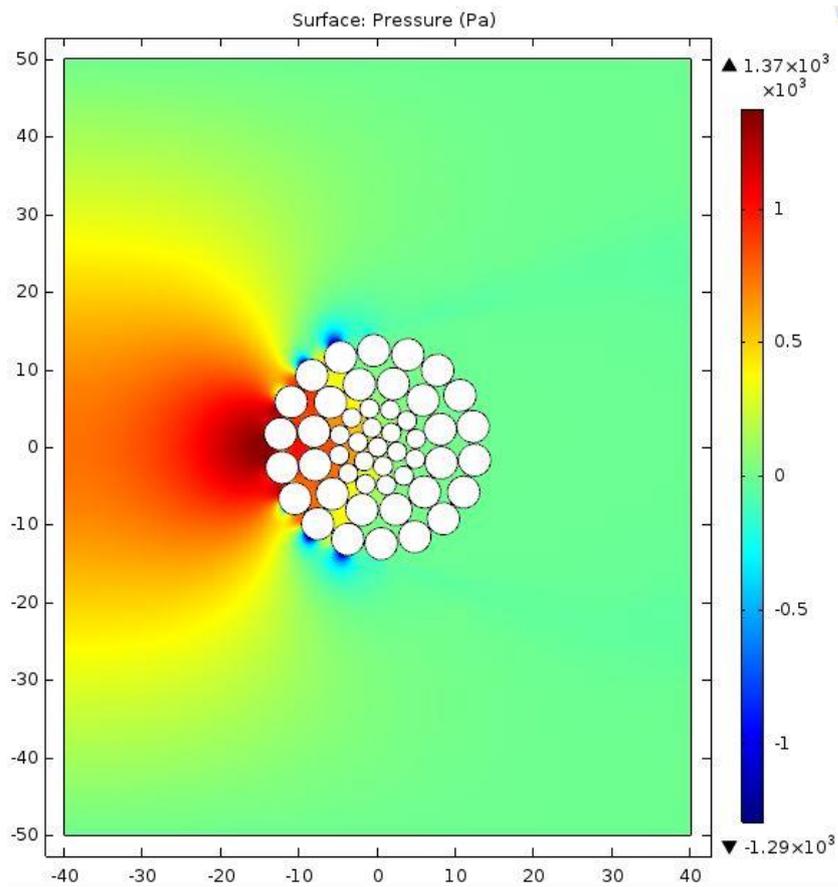
Рисунок 9. Визуализация результатов проведенных расчетов распределения скорости в воздушном потоке при обтекании провода АС 400/ГОСТ 839-80 (изменение ориентации провода относительно направления ветра на 90°)



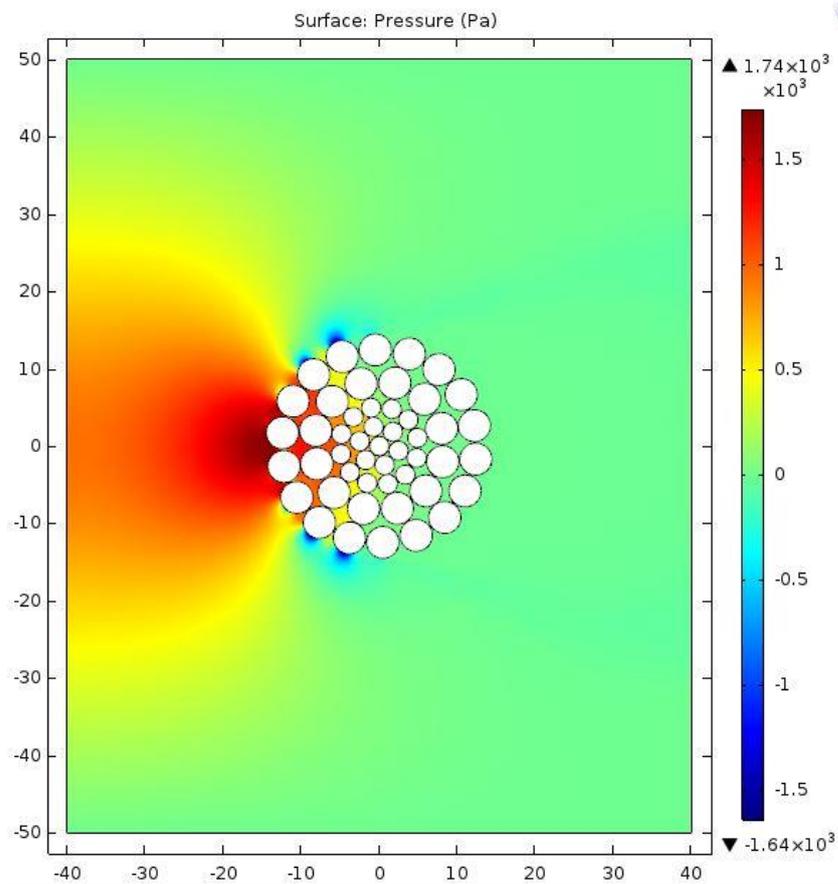
скорость ветрового потока 25 м/с (I район по ветру)



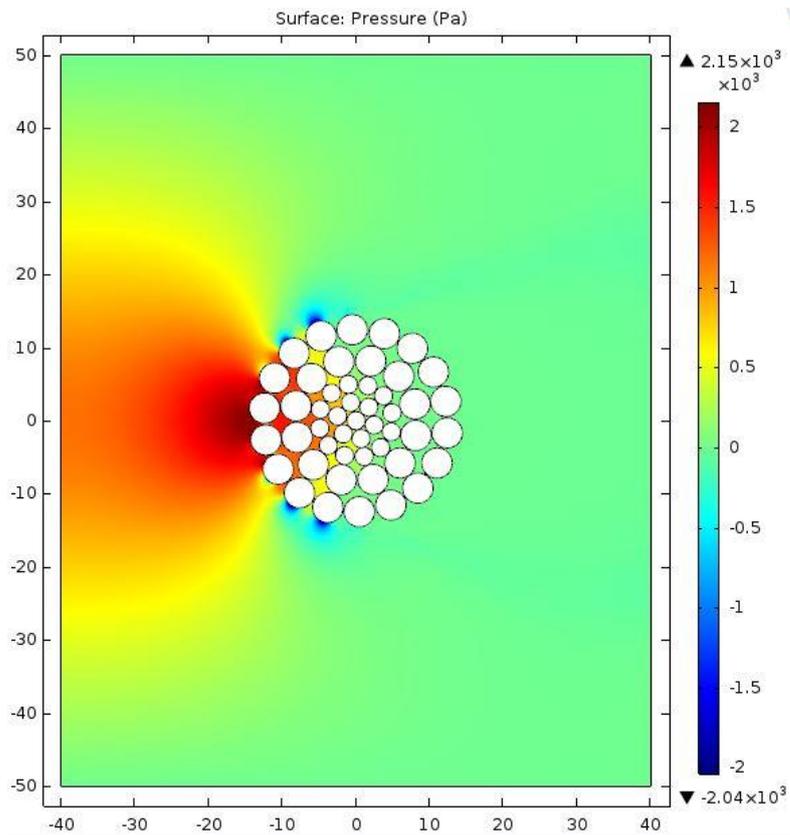
скорость ветрового потока 29 м/с (II и III районы по ветру)



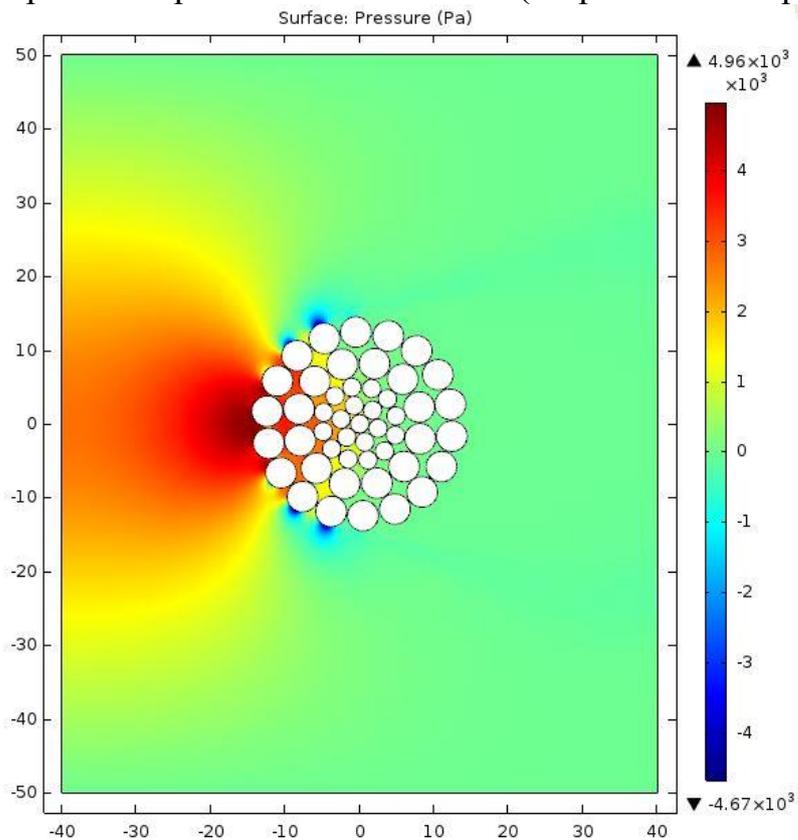
скорость ветрового потока 32 м/с (IV район по ветру)



скорость ветрового потока 36 м/с (V район по ветру)

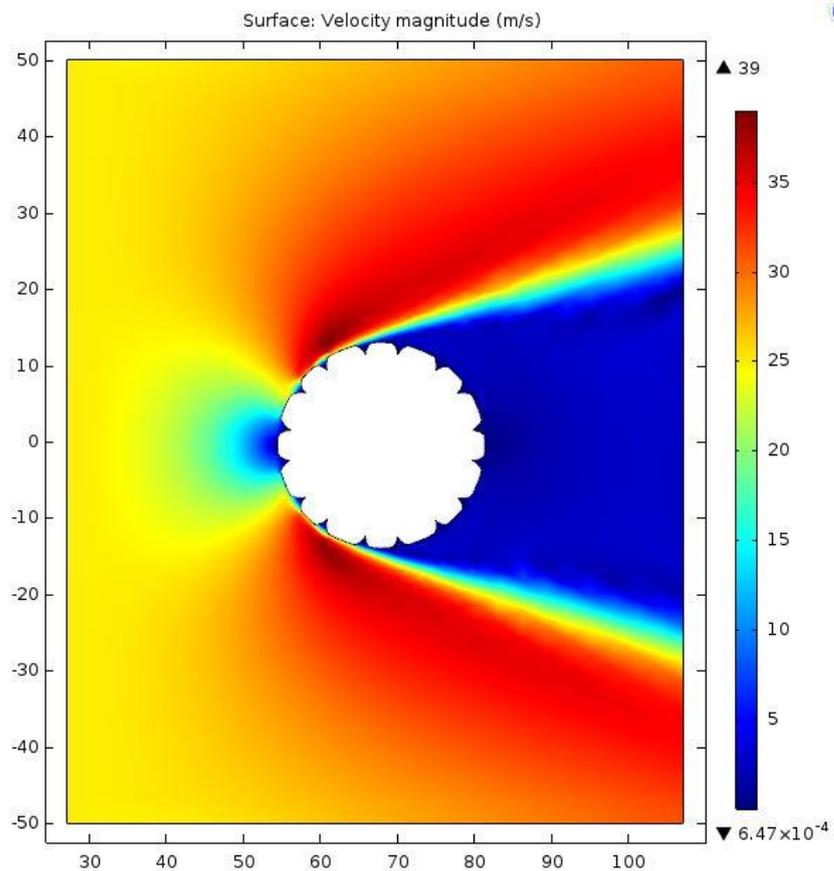


скорость ветрового потока 40 м/с (VI район по ветру)

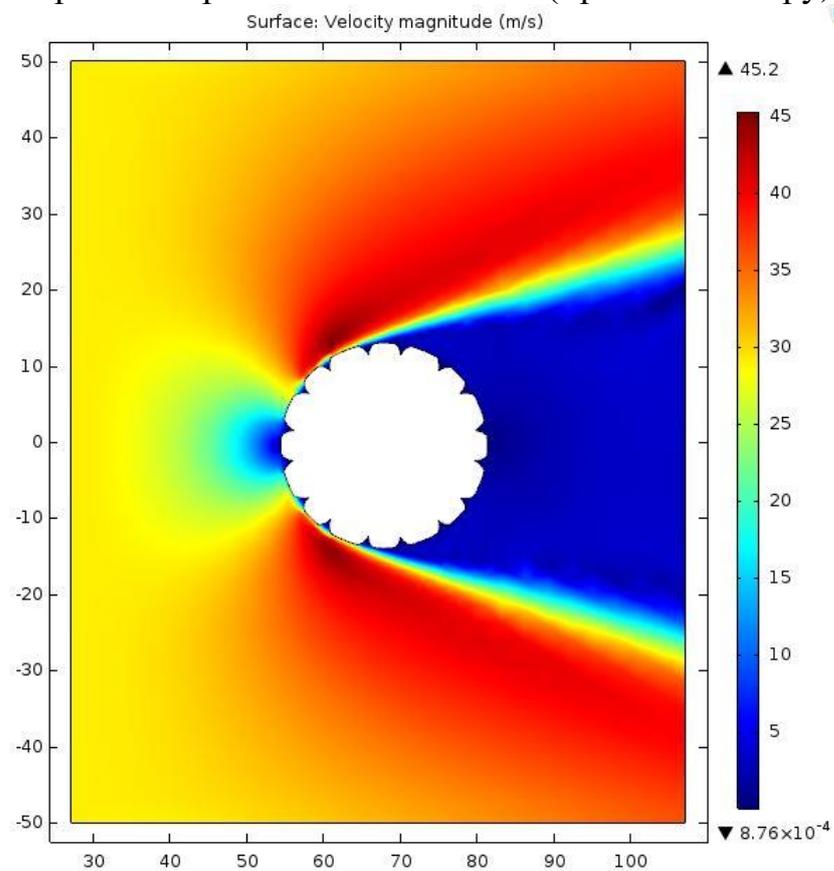


скорость ветрового потока 60 м/с (особый район по ветру)

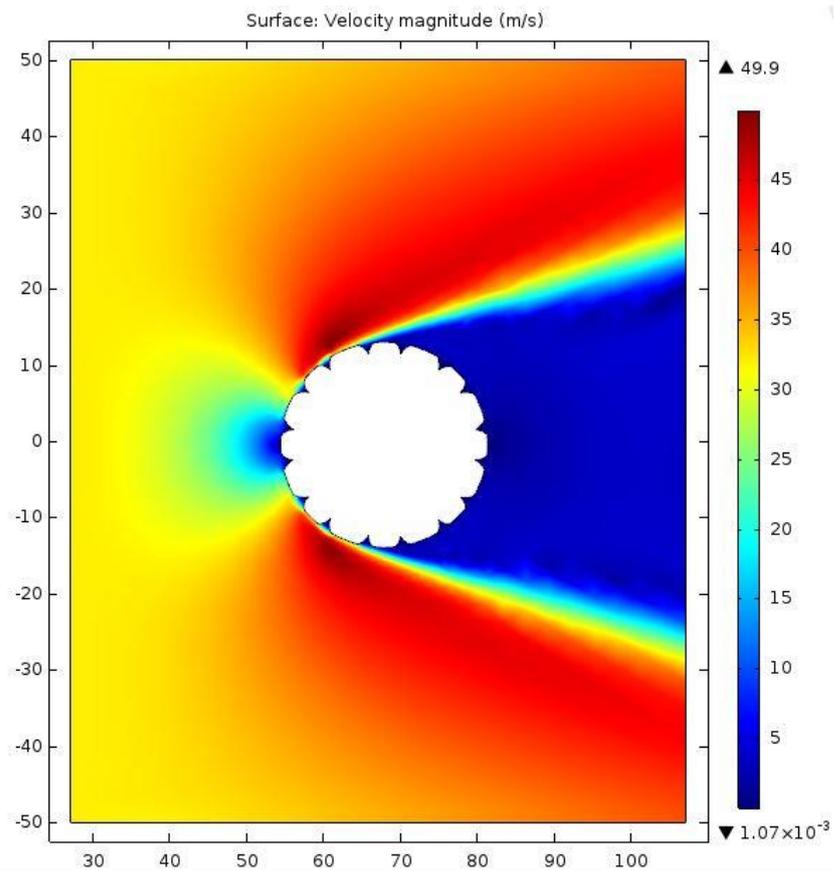
Рисунок 10. Визуализация результатов проведенных расчетов распределения давления в воздушном потоке при обтекании провода АС 400/ ГОСТ 839-80 (изменение ориентации провода относительно направления ветра на 90°)



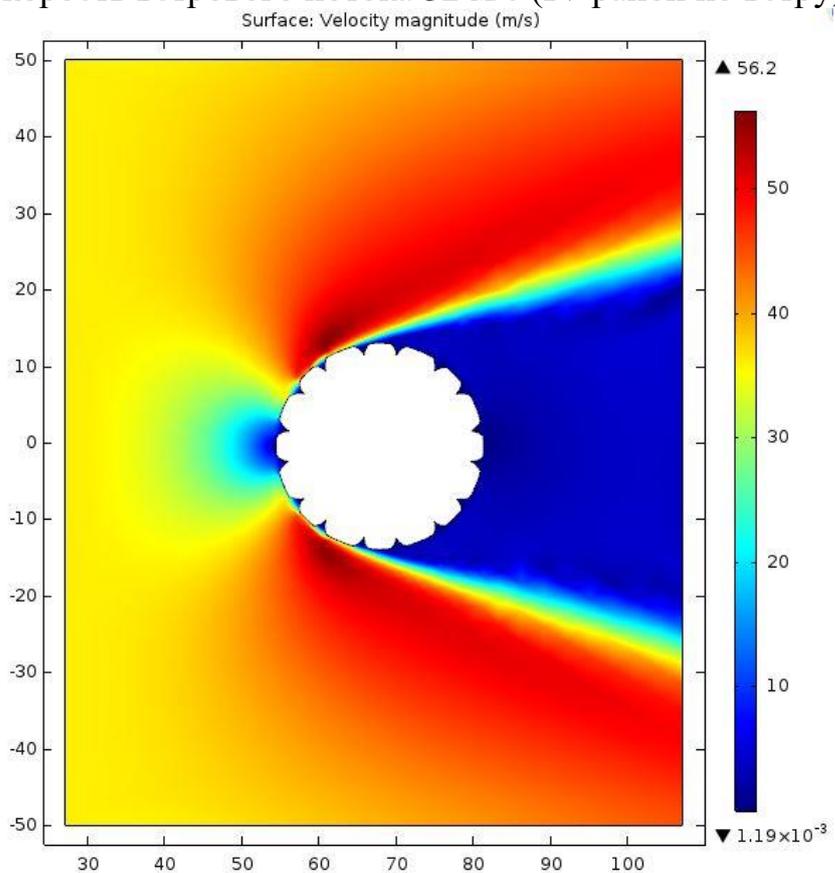
скорость ветрового потока 25 м/с (I район по ветру)



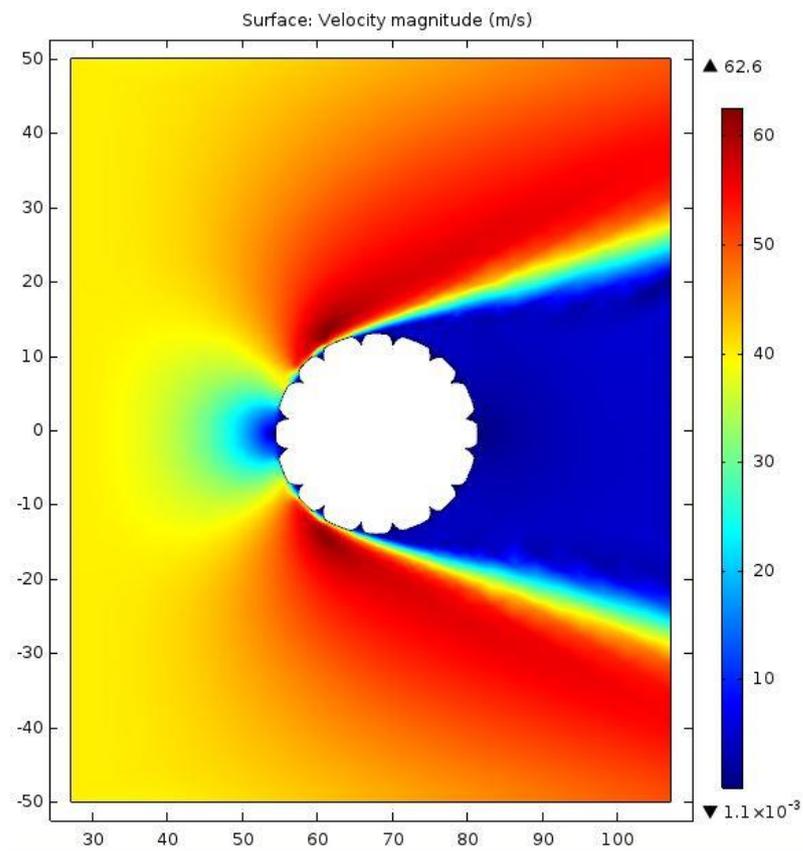
скорость ветрового потока 29 м/с (II и III районы по ветру)



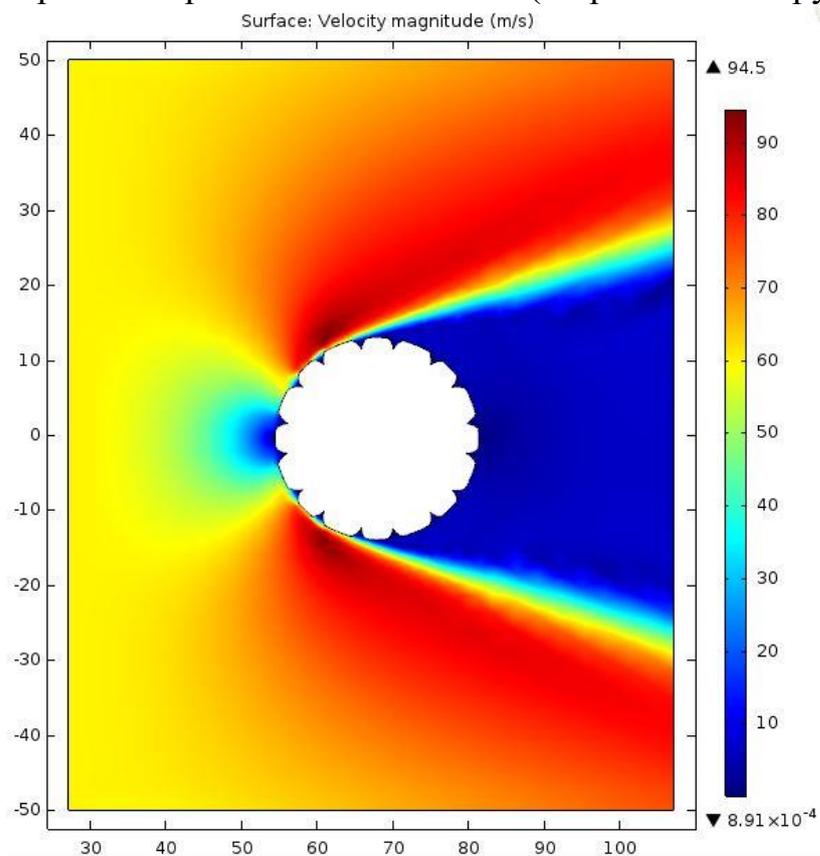
скорость ветрового потока 32 м/с (IV район по ветру)



скорость ветрового потока 36 м/с (V район по ветру)

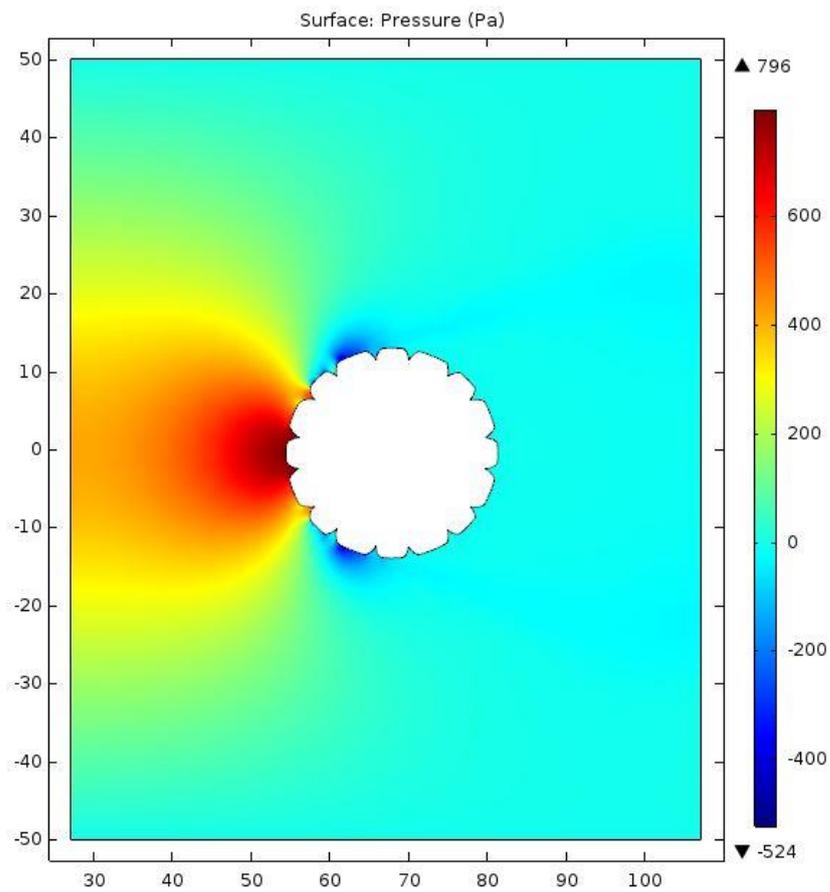


скорость ветрового потока 40 м/с (VI район по ветру)

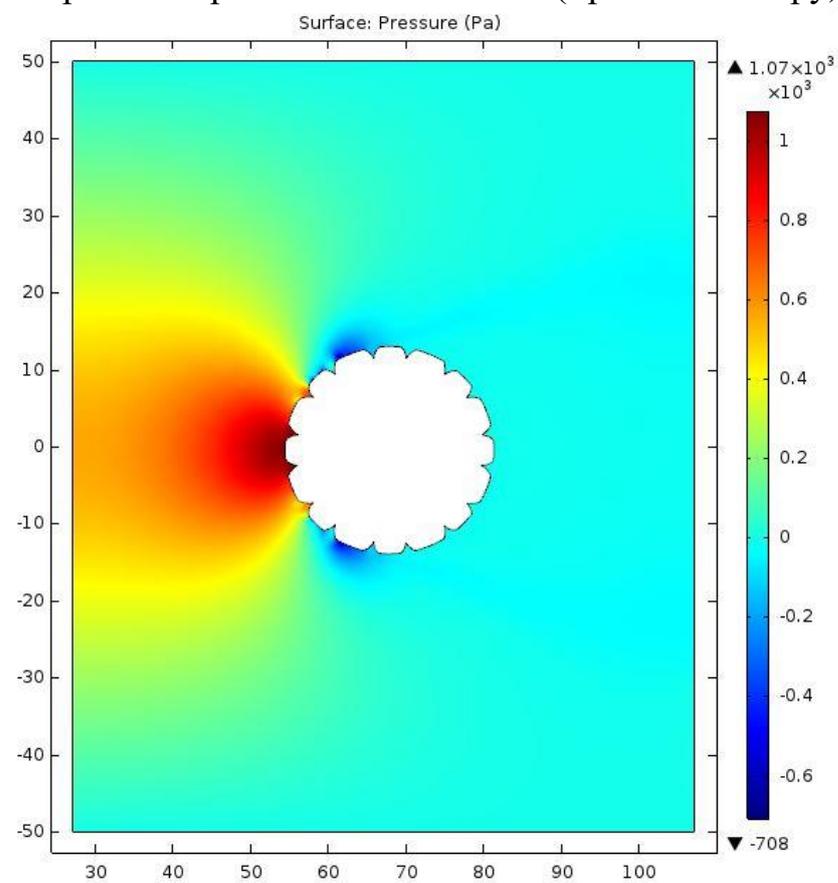


скорость ветрового потока 60 м/с (особый район по ветру)

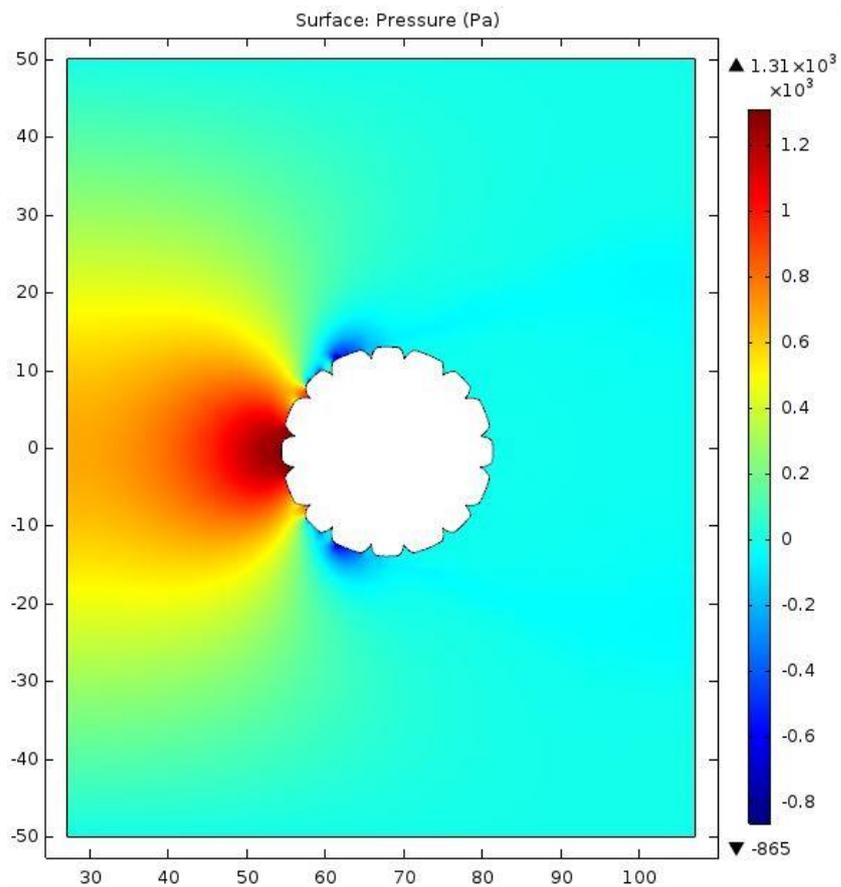
Рисунок 11. Визуализация результатов проведенных расчетов распределения скорости в воздушном потоке при обтекании провода АСВП или АСВТ 461/64 СТО 71915393–ТУ 120–2012



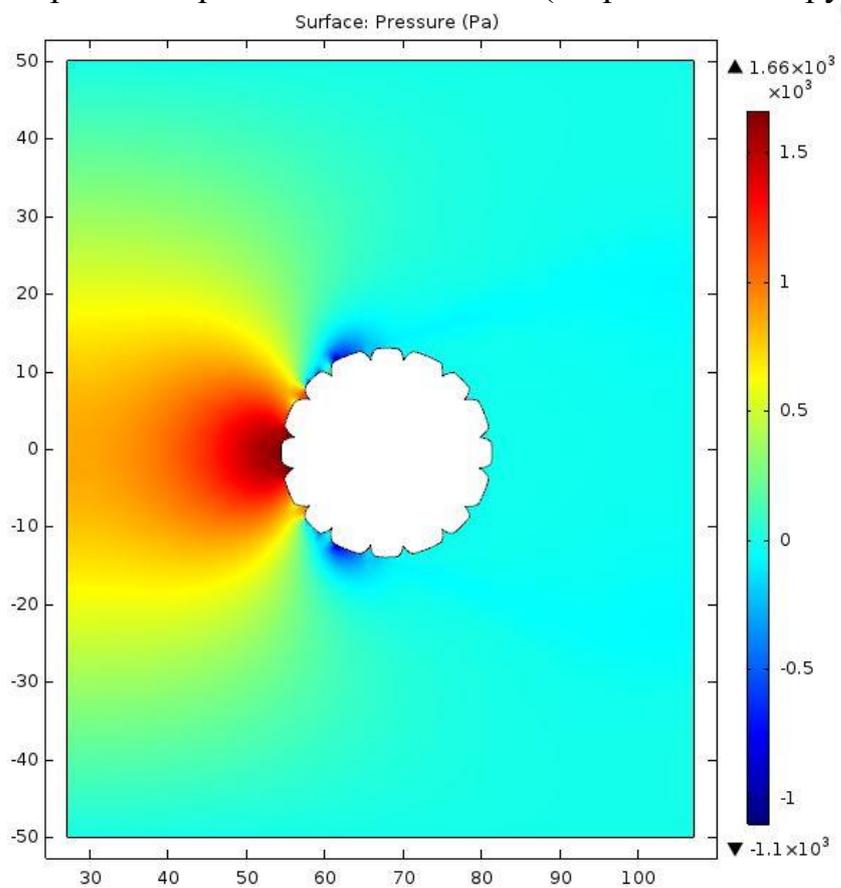
скорость ветрового потока 25 м/с (I район по ветру)



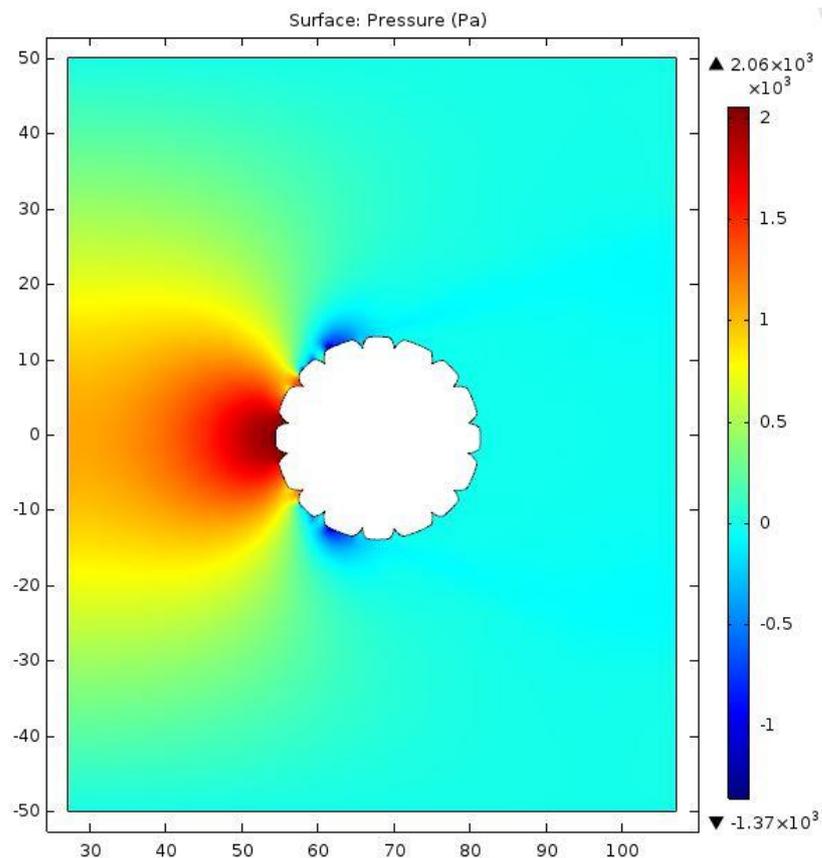
скорость ветрового потока 29 м/с (II и III районы по ветру)



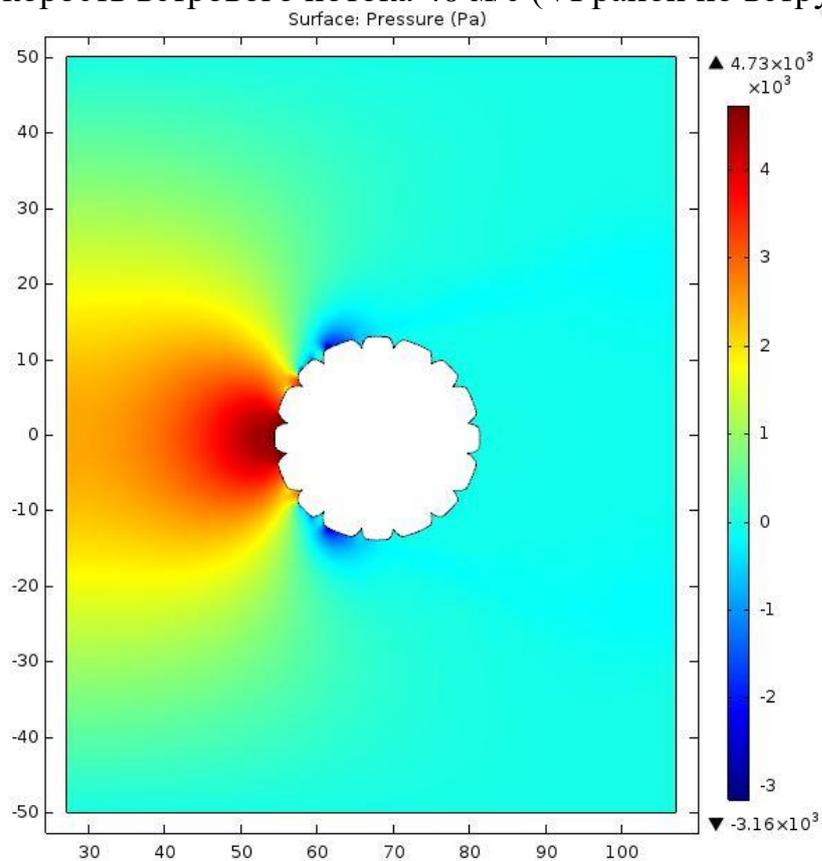
скорость ветрового потока 32 м/с (IV район по ветру)



скорость ветрового потока 36 м/с (V район по ветру)

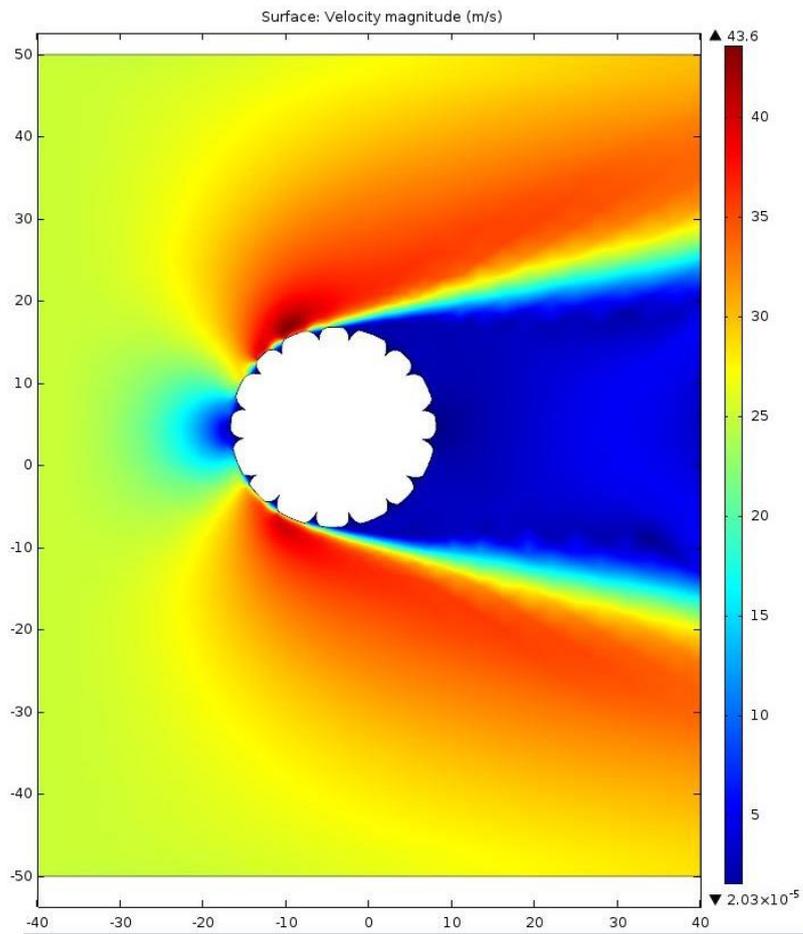


скорость ветрового потока 40 м/с (VI район по ветру)

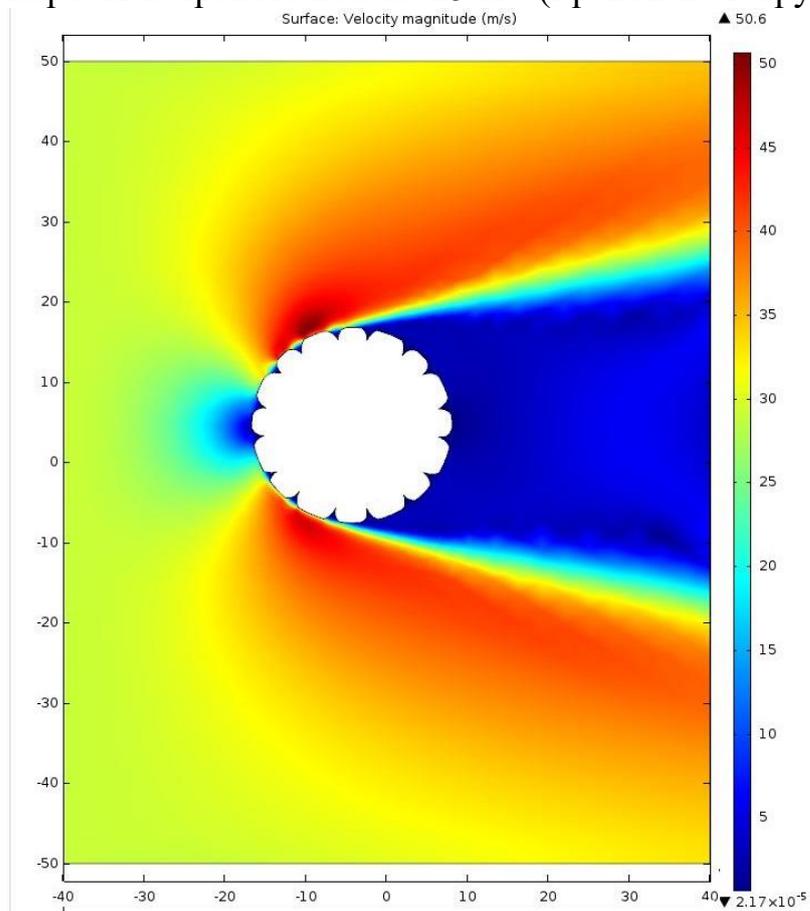


скорость ветрового потока 60 м/с (особый район по ветру)

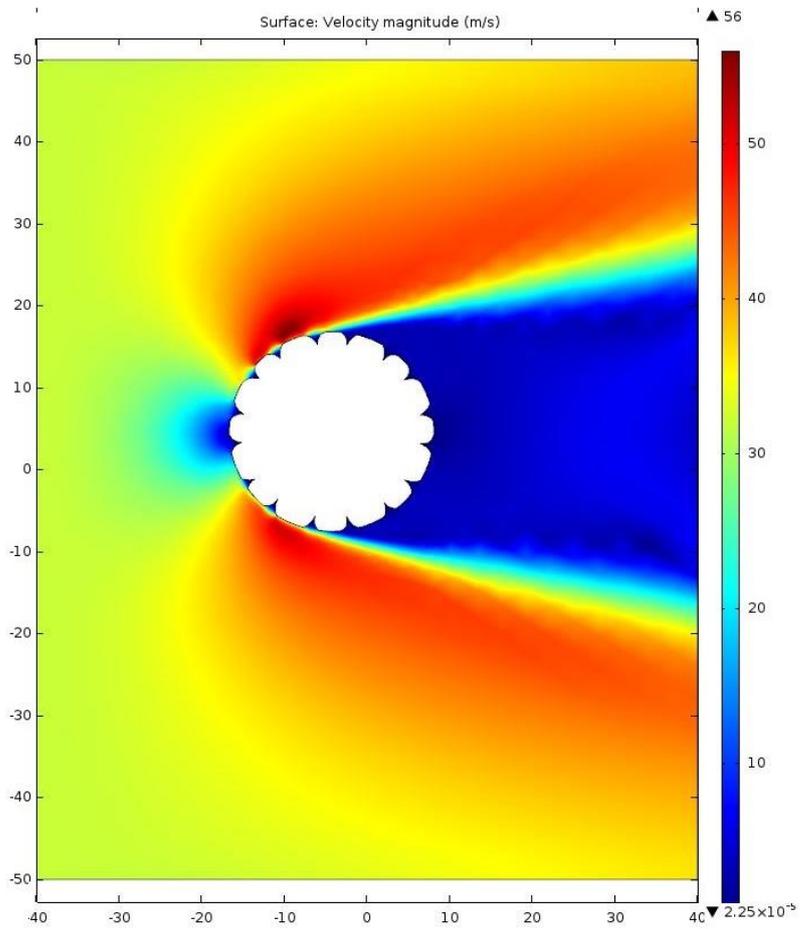
Рисунок 12. Визуализация результатов проведенных расчетов распределения давления в воздушном потоке при обтекании провода АСВП или АСВТ 461/64 СТО 71915393–ТУ 120–2012



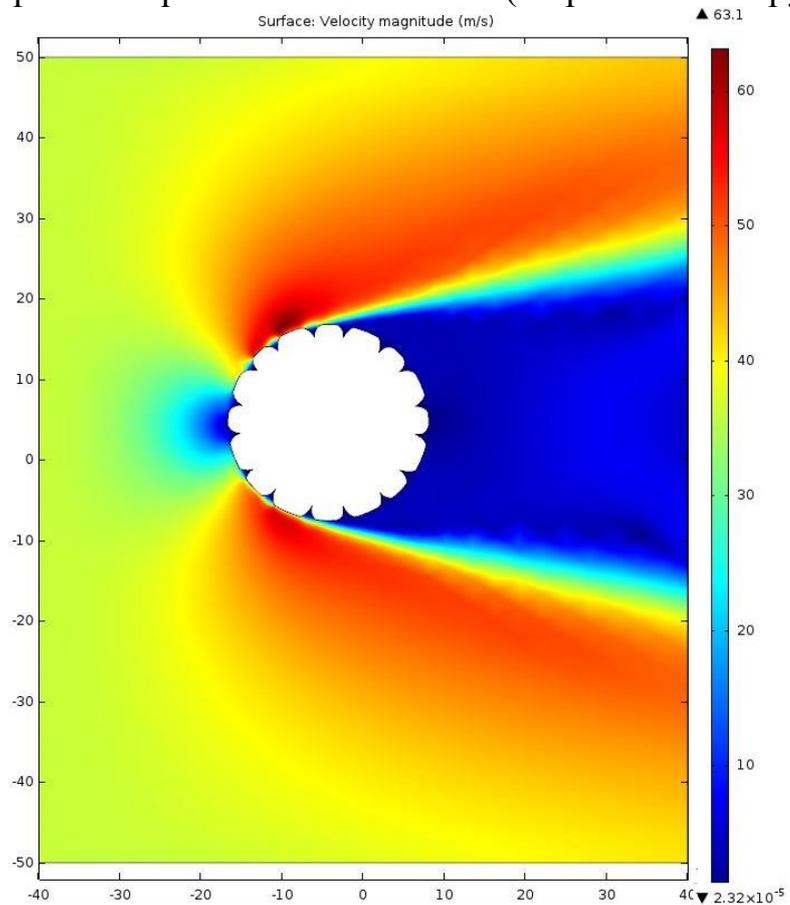
скорость ветрового потока 25 м/с (I район по ветру)



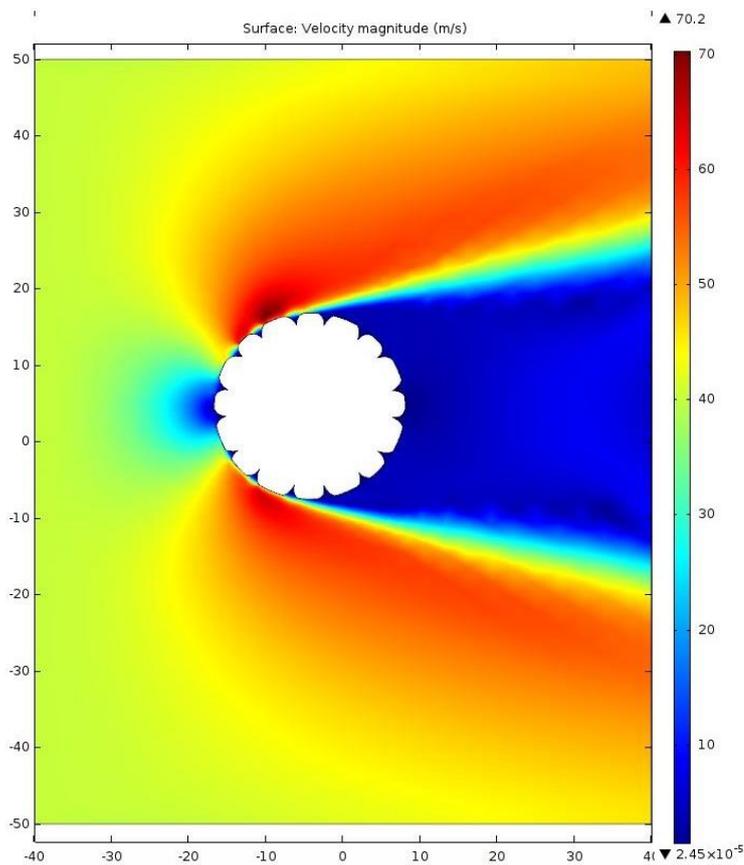
скорость ветрового потока 29 м/с (II и III районы по ветру)



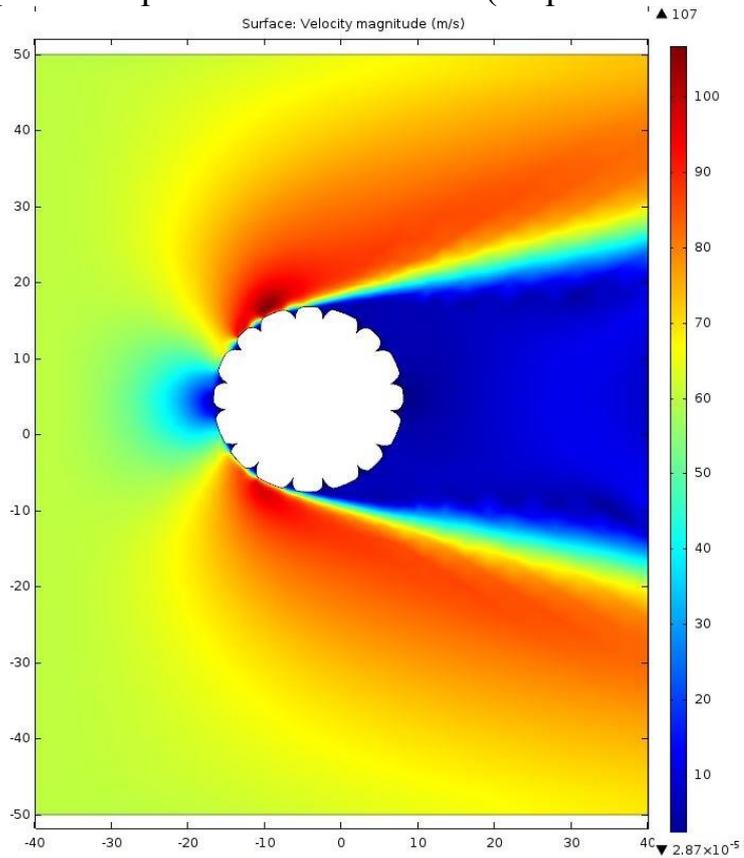
скорость ветрового потока 32 м/с (IV район по ветру)



скорость ветрового потока 36 м/с (V район по ветру)

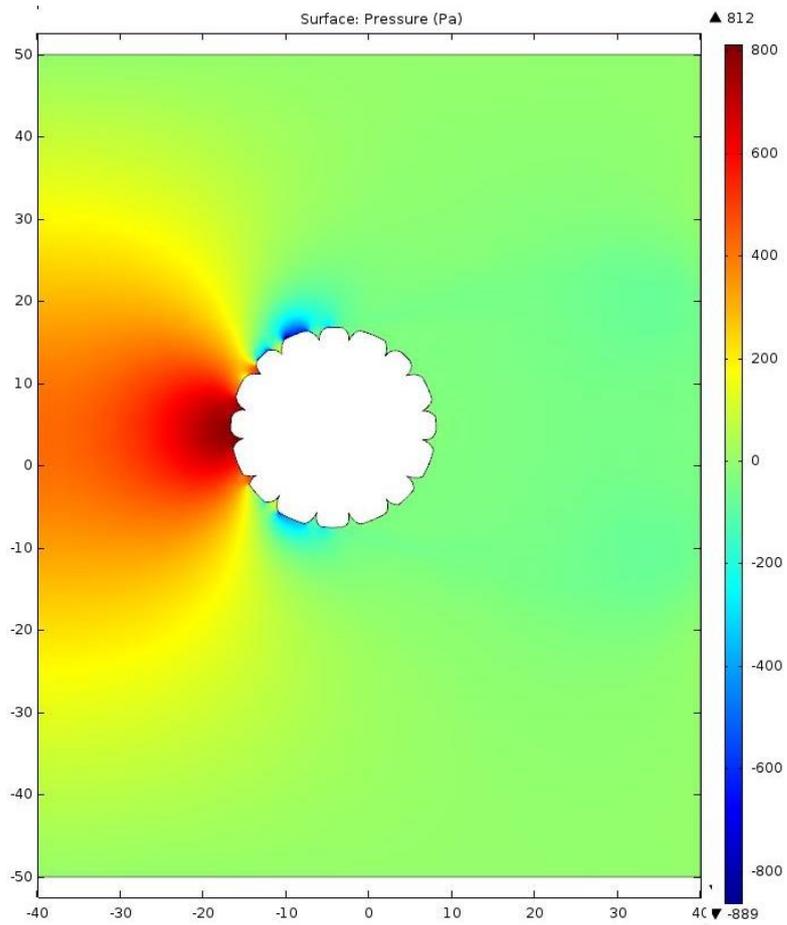


скорость ветрового потока 40 м/с (VI район по ветру)

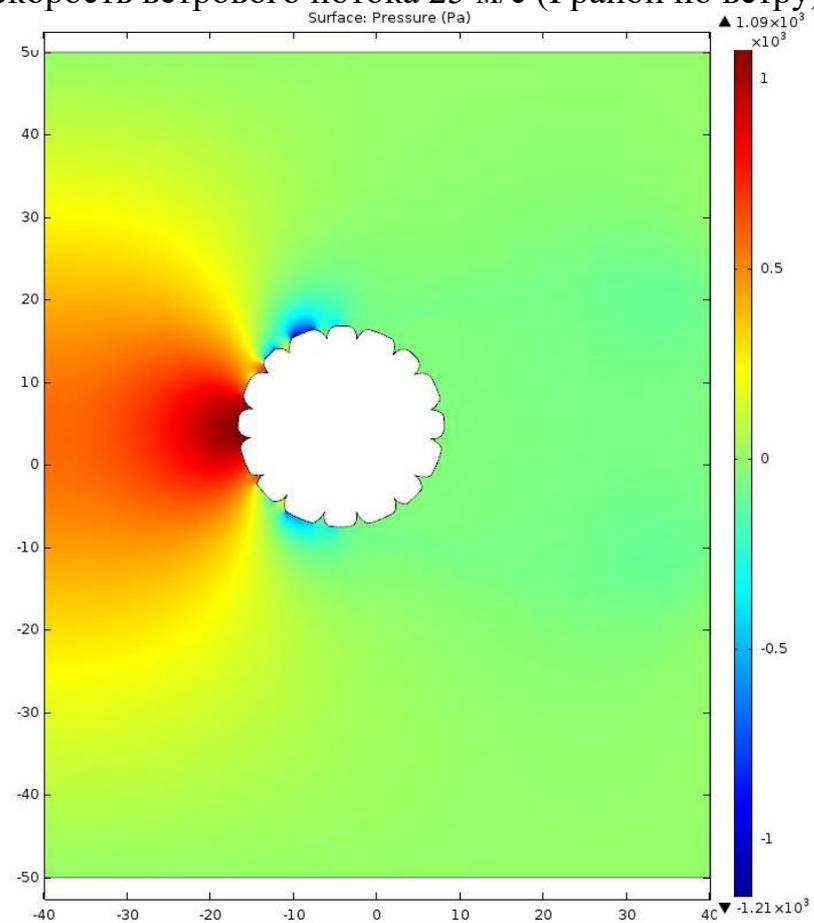


скорость ветрового потока 60 м/с (особый район по ветру)

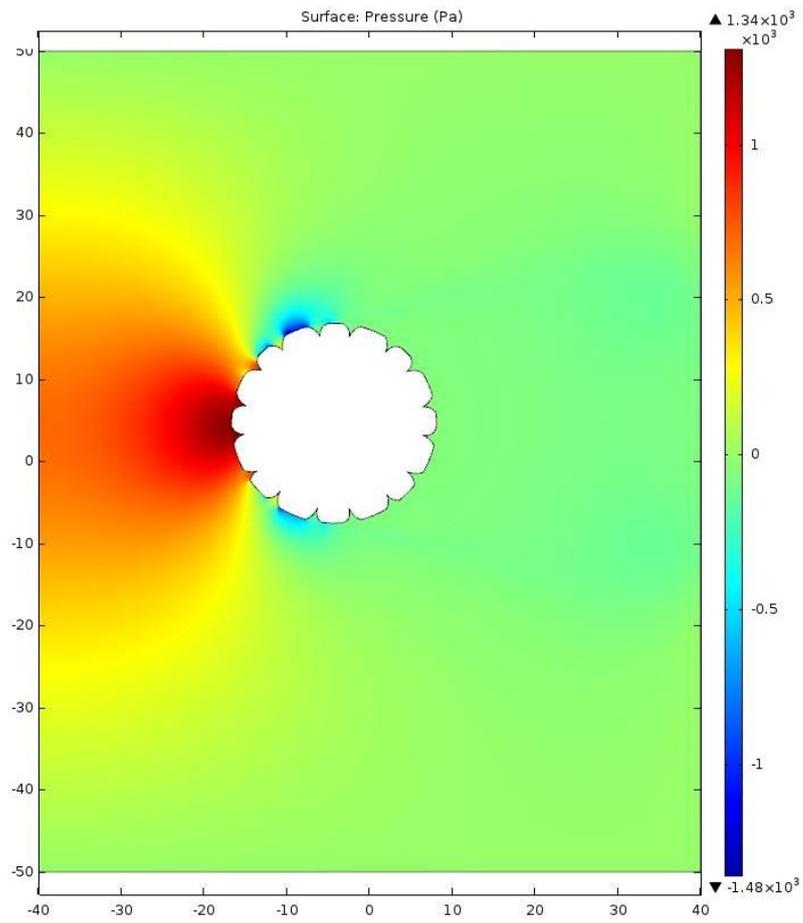
Рисунок 13. Визуализация результатов проведенных расчетов распределения скорости в воздушном потоке при обтекании провода АСВП или АСВТ 389/59 СТО 71915393–ТУ 120–2012



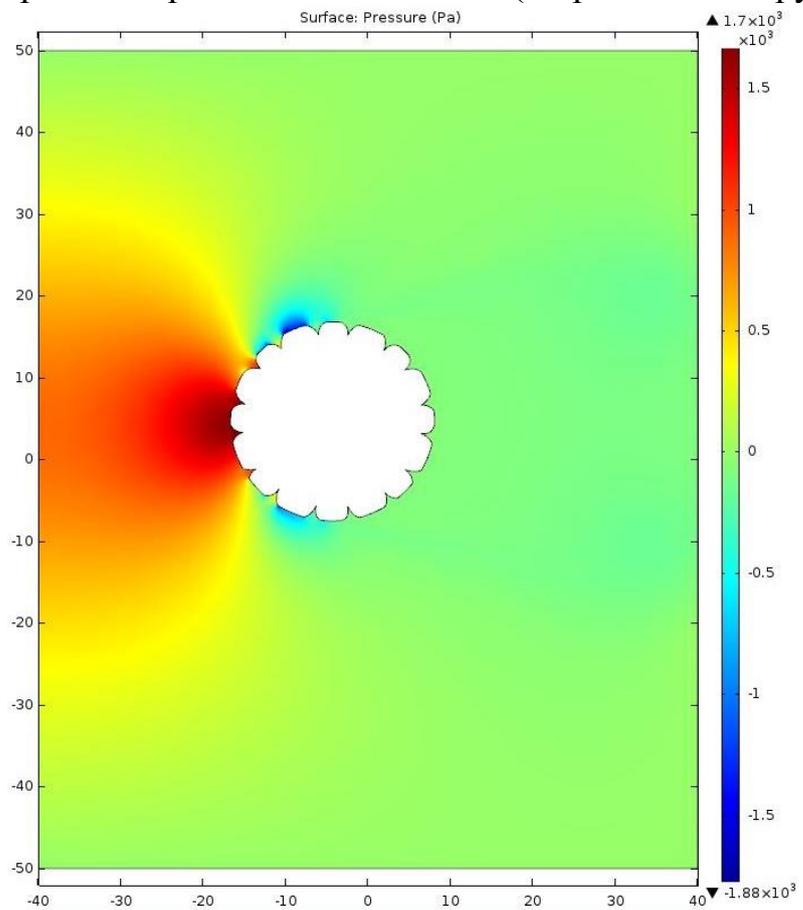
скорость ветрового потока 25 м/с (I район по ветру)



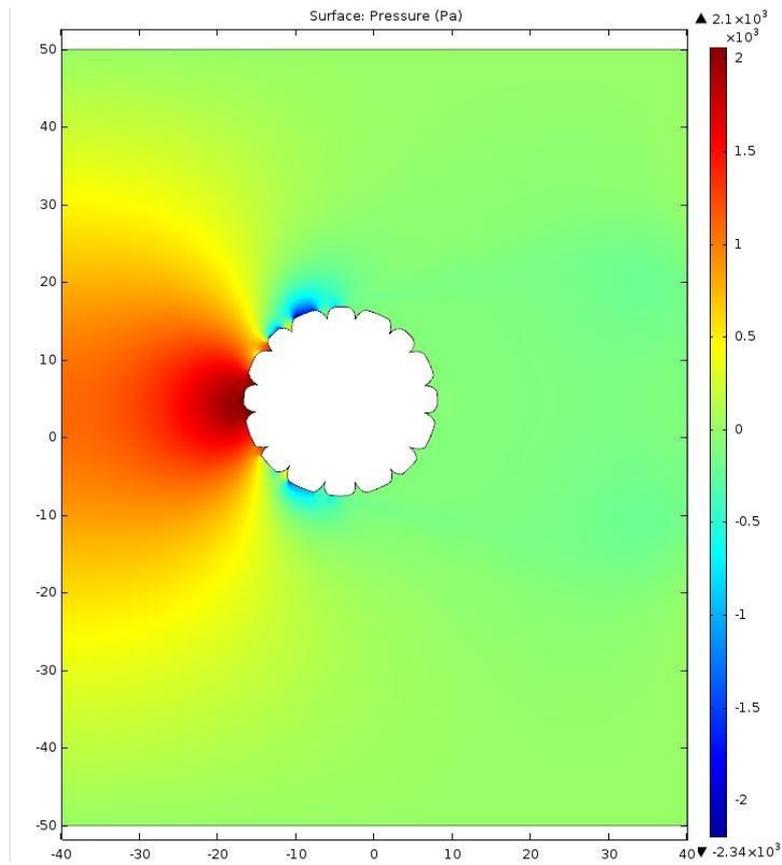
скорость ветрового потока 29 м/с (II и III районы по ветру)



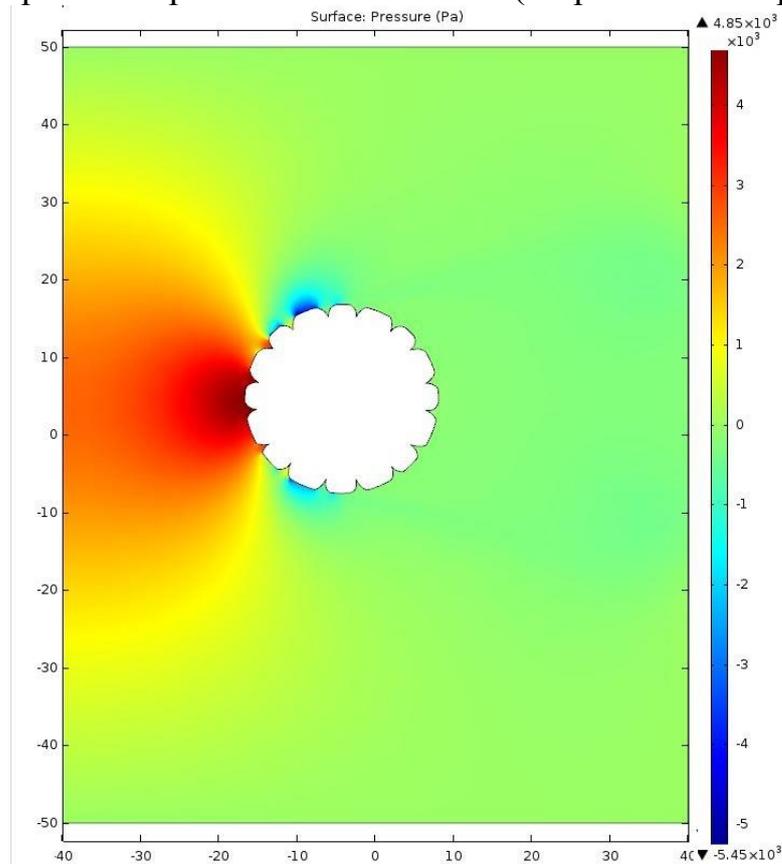
скорость ветрового потока 32 м/с (IV район по ветру)



скорость ветрового потока 36 м/с (V район по ветру)

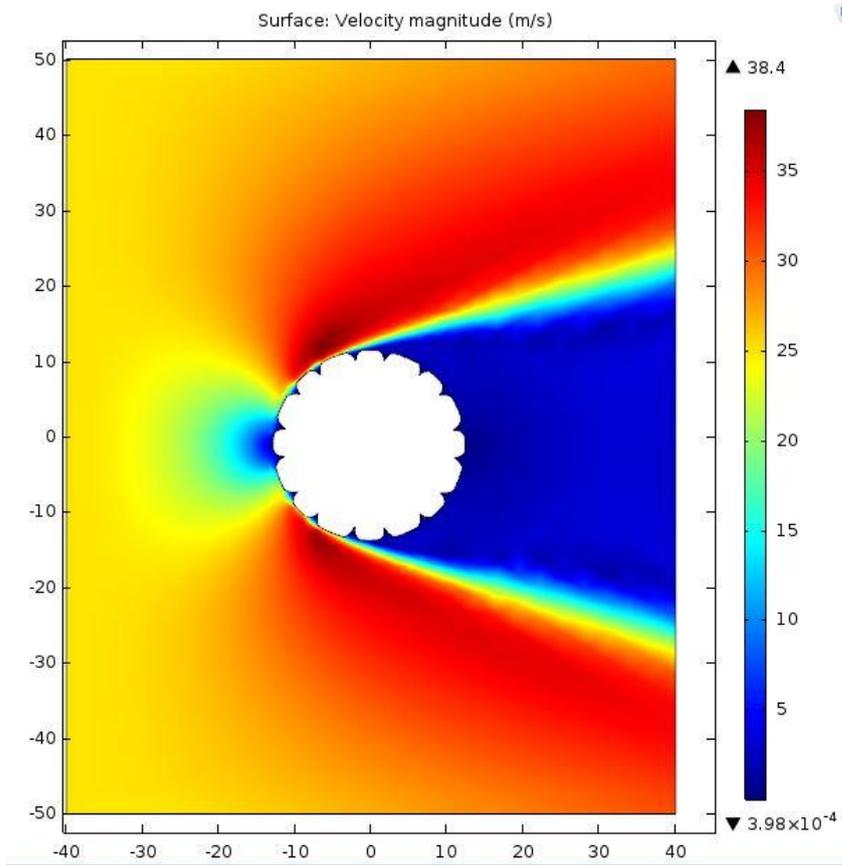


скорость ветрового потока 40 м/с (VI район по ветру)

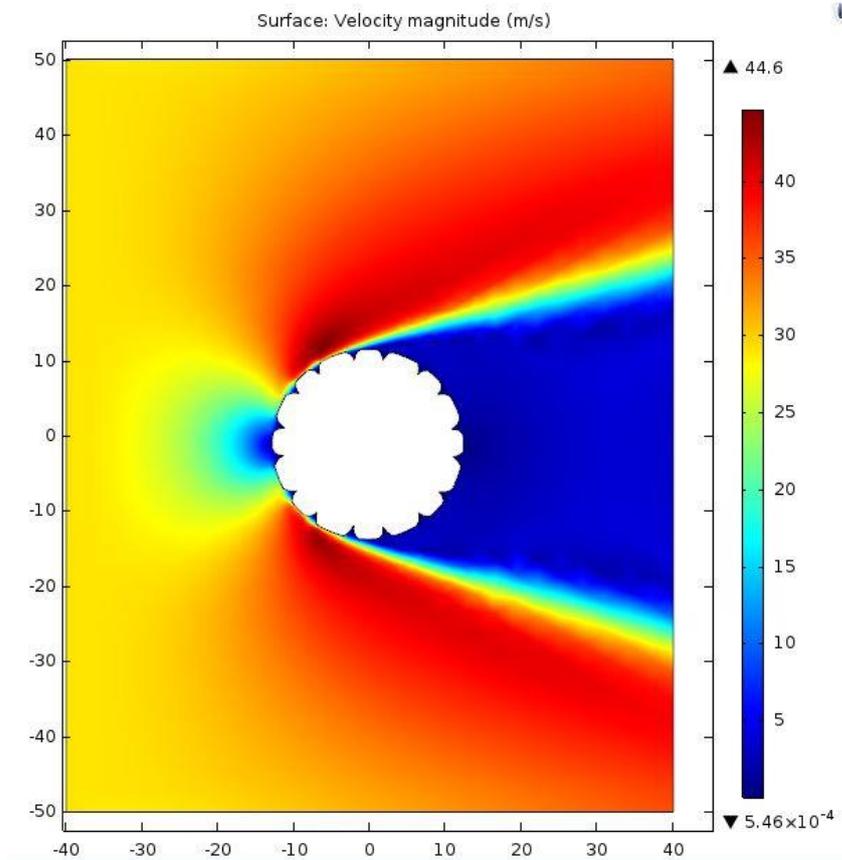


скорость ветрового потока 60 м/с (особый район по ветру)

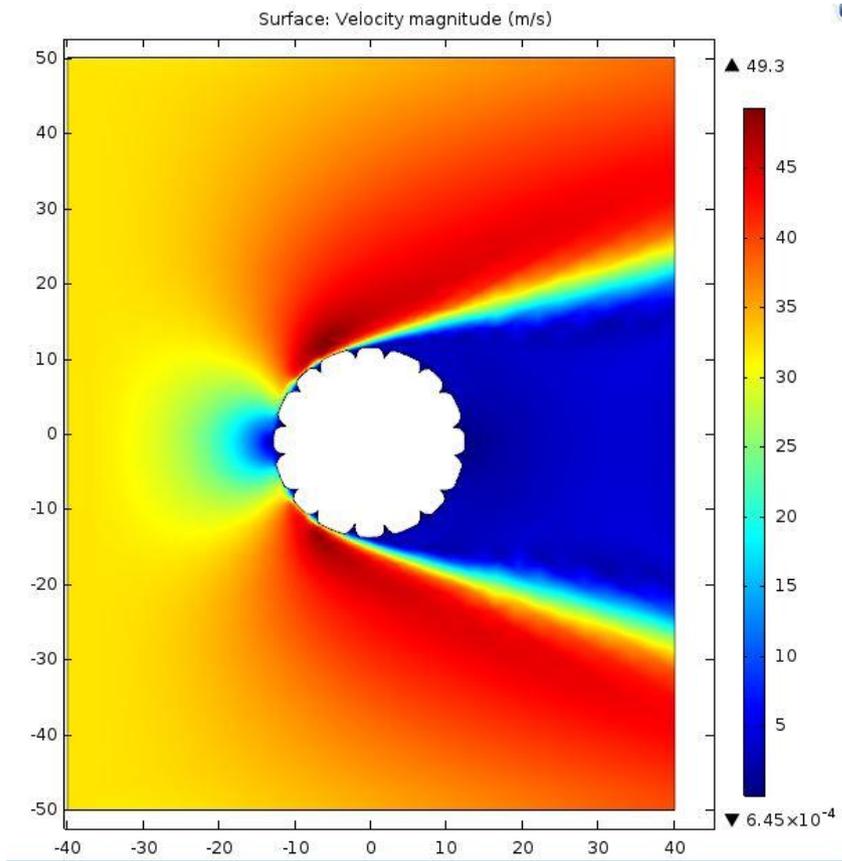
Рисунок 14. Визуализация результатов проведенных расчетов распределения давления в воздушном потоке при обтекании провода АСВП или АСВТ 389/59 СТО 71915393–ТУ 120–2012



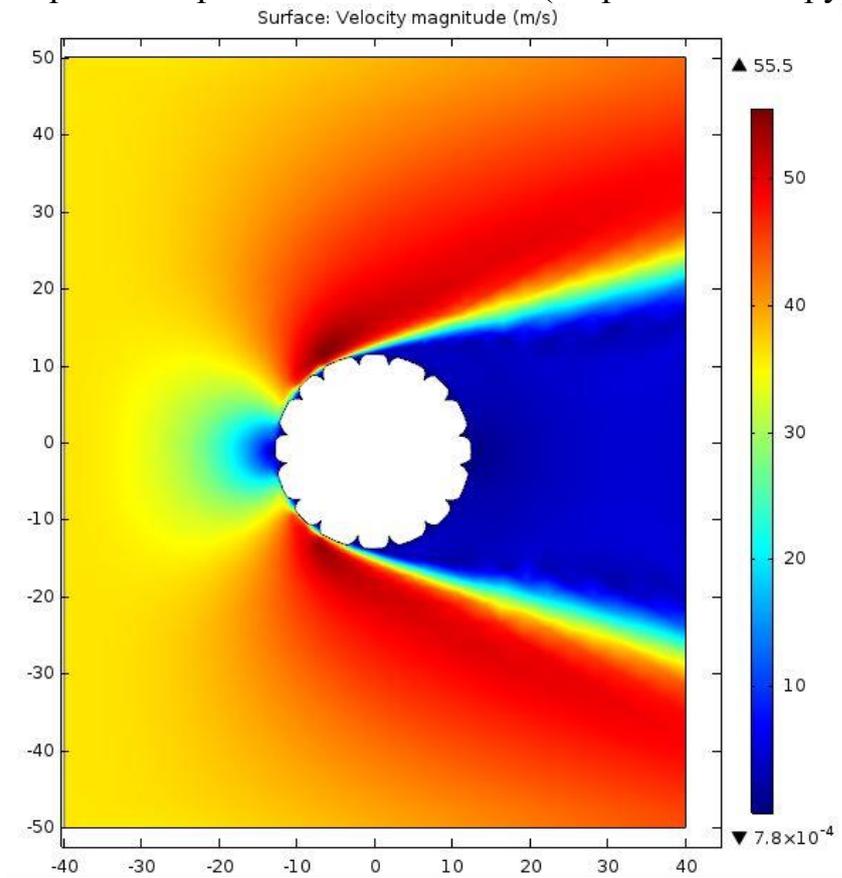
скорость ветрового потока 25 м/с (I район по ветру)



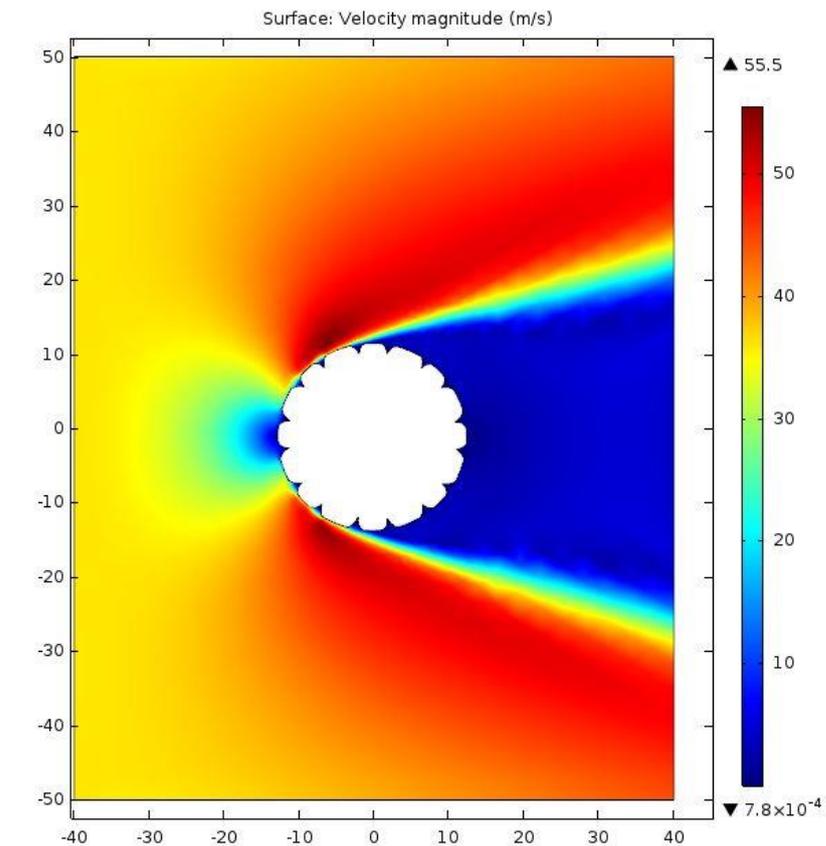
скорость ветрового потока 29 м/с (II и III районы по ветру)



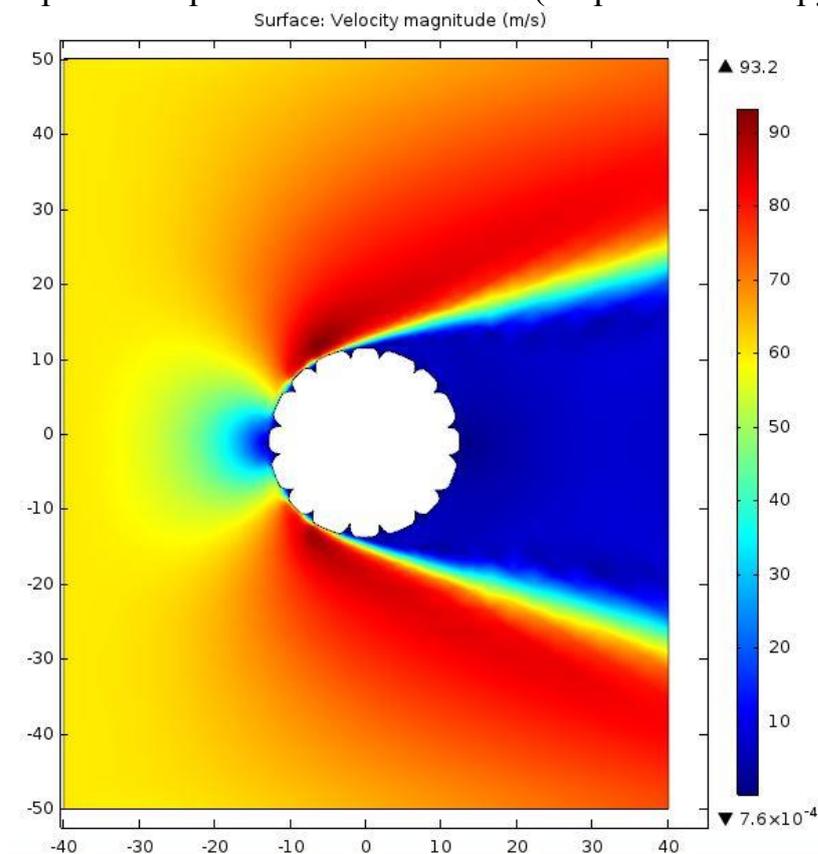
скорость ветрового потока 32 м/с (IV район по ветру)



скорость ветрового потока 36 м/с (V район по ветру)

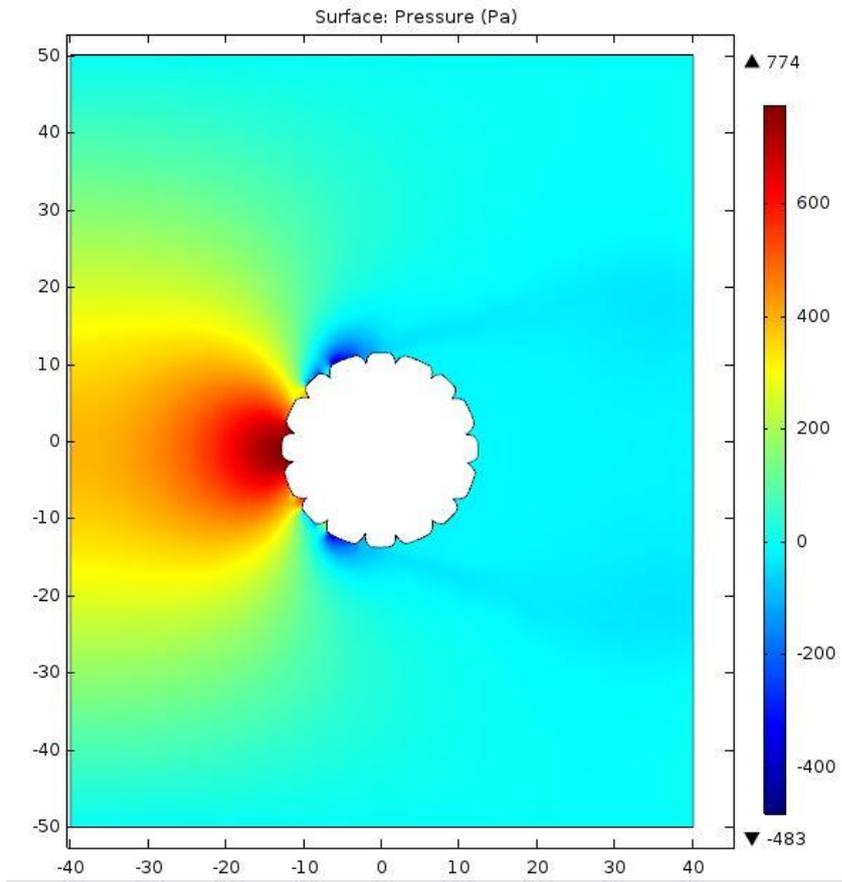


скорость ветрового потока 40 м/с (VI район по ветру)

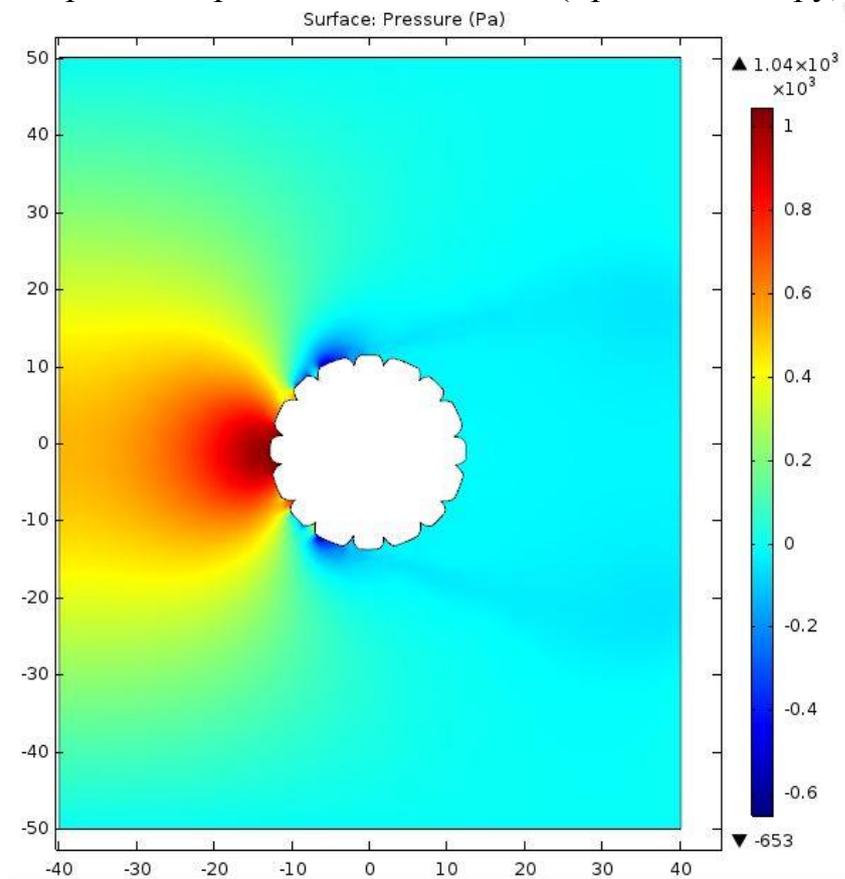


скорость ветрового потока 60 м/с (особый район по ветру)

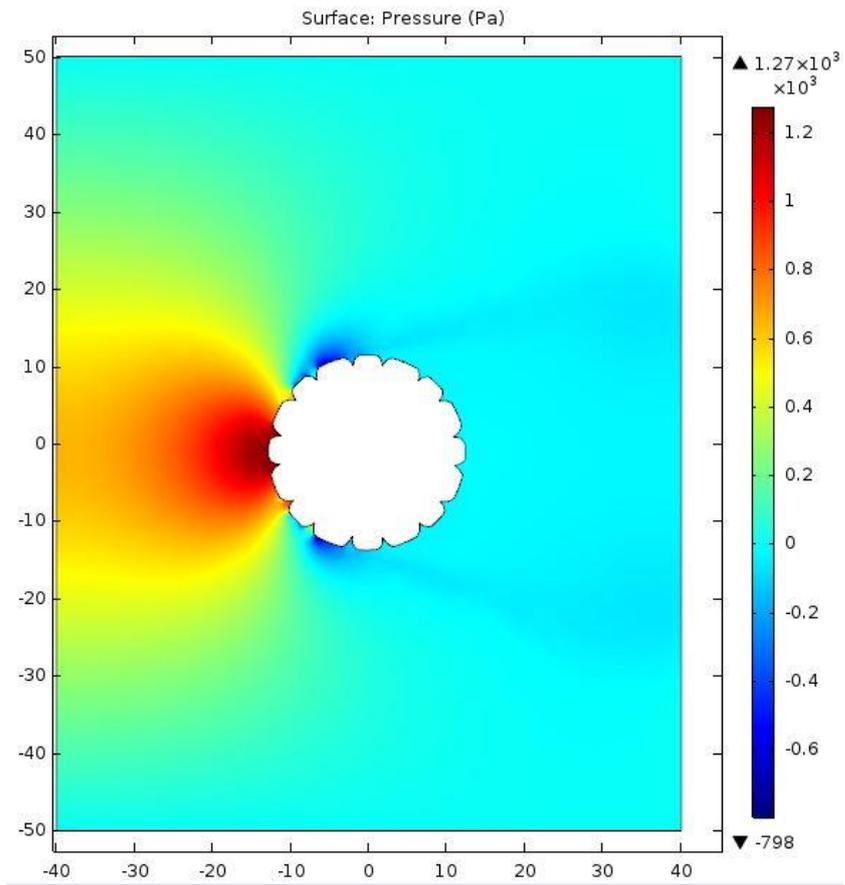
Рисунок 15. Визуализация результатов проведенных расчетов распределения скорости в воздушном потоке при обтекании провода АСВП или АСВТ 403/61 СТО 71915393–ТУ 120–2012



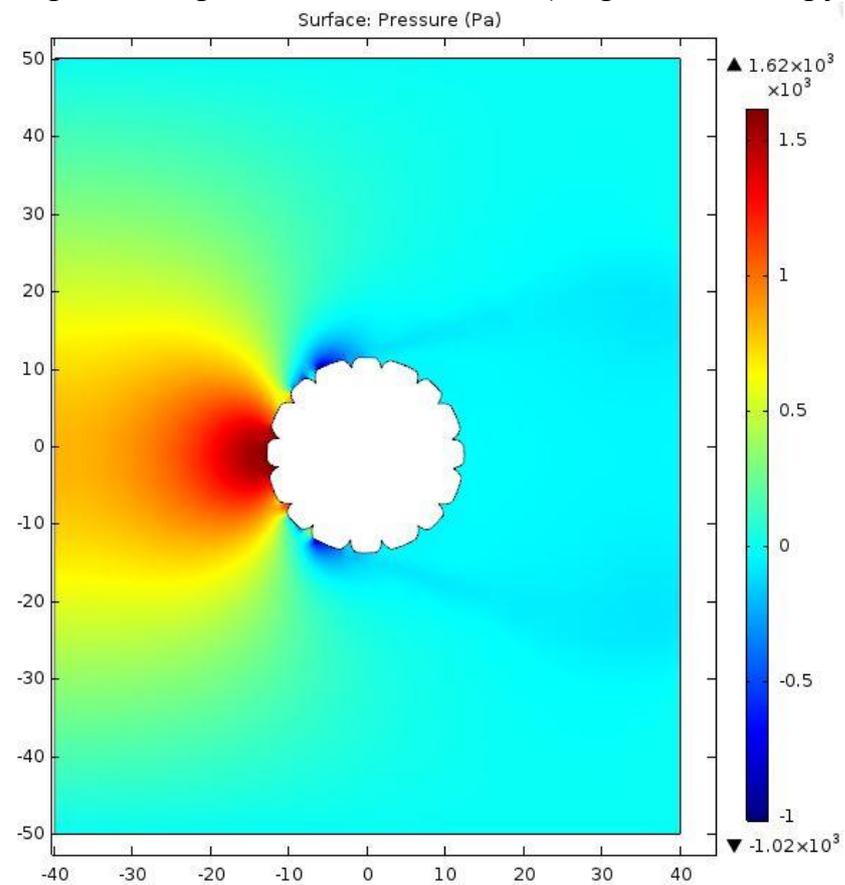
скорость ветрового потока 25 м/с (I район по ветру)



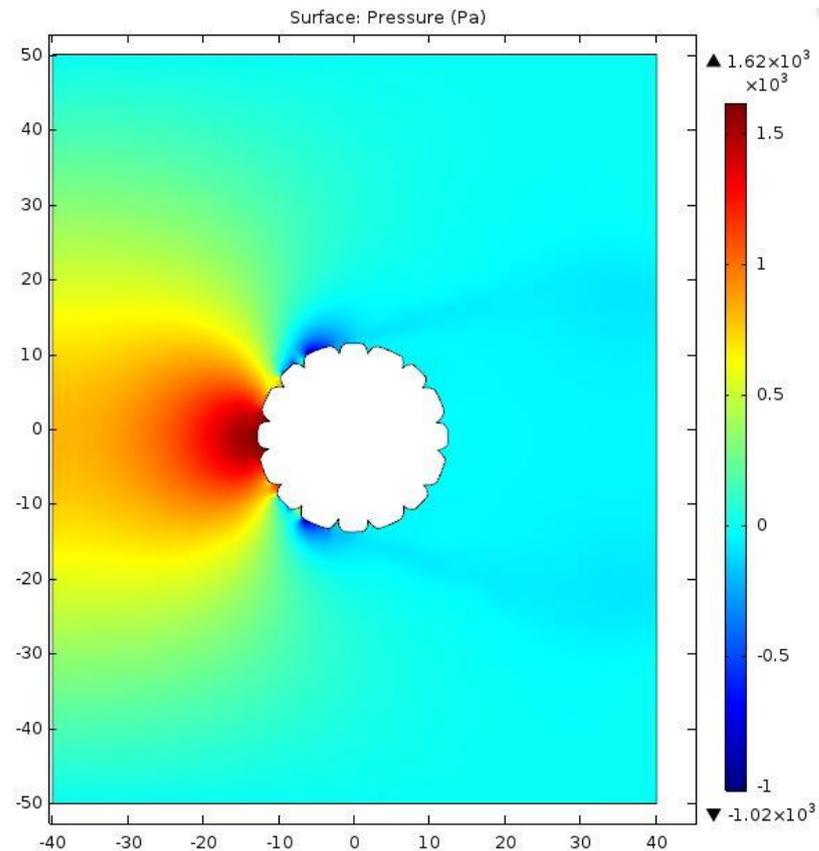
скорость ветрового потока 29 м/с (II и III районы по ветру)



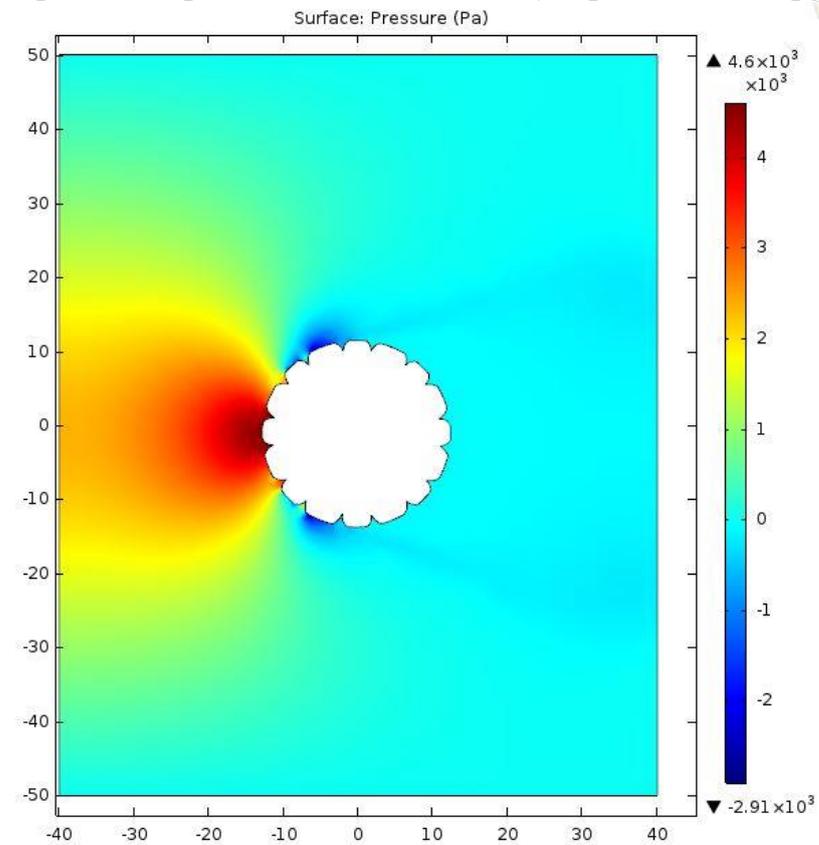
скорость ветрового потока 32 м/с (IV район по ветру)



скорость ветрового потока 36 м/с (V район по ветру)

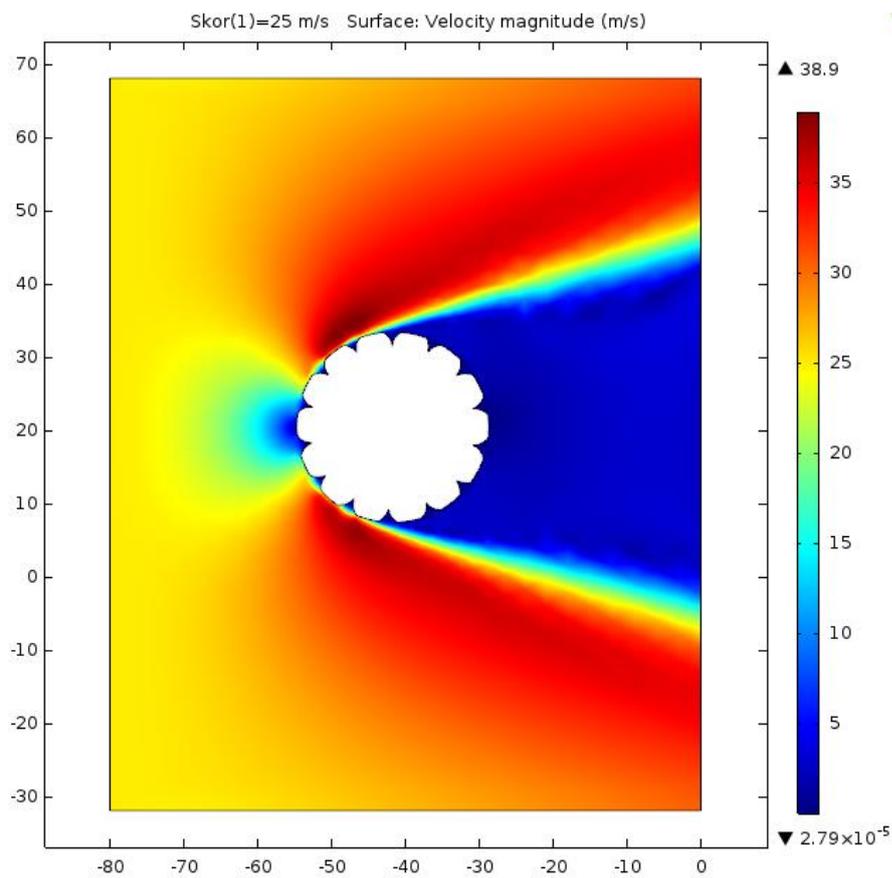


скорость ветрового потока 40 м/с (VI район по ветру)

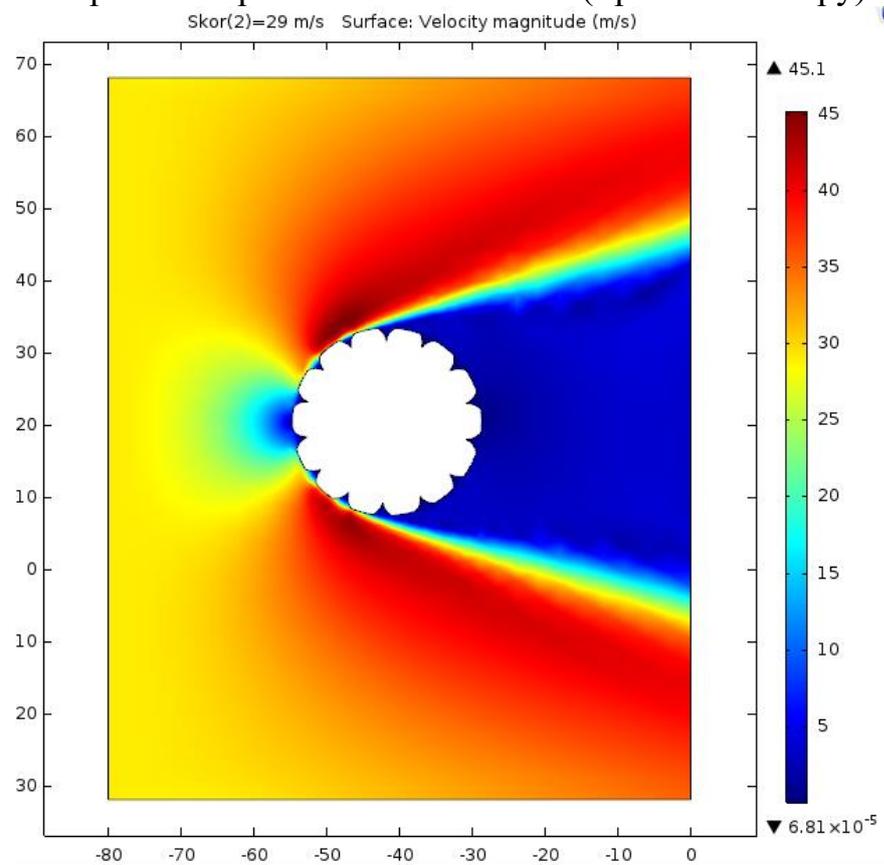


скорость ветрового потока 60 м/с (особый район по ветру)

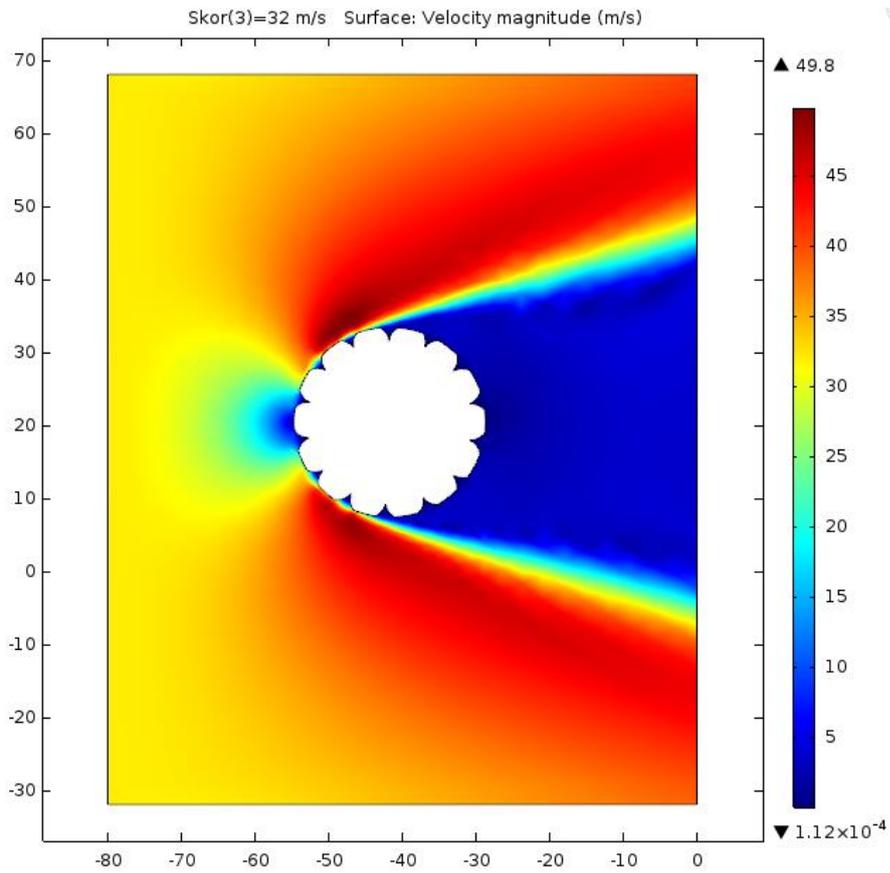
Рисунок 16. Визуализация результатов проведенных расчетов распределения давления в воздушном потоке при обтекании провода АСВП или АСВТ 403/61 СТО 71915393–ТУ 120–2012



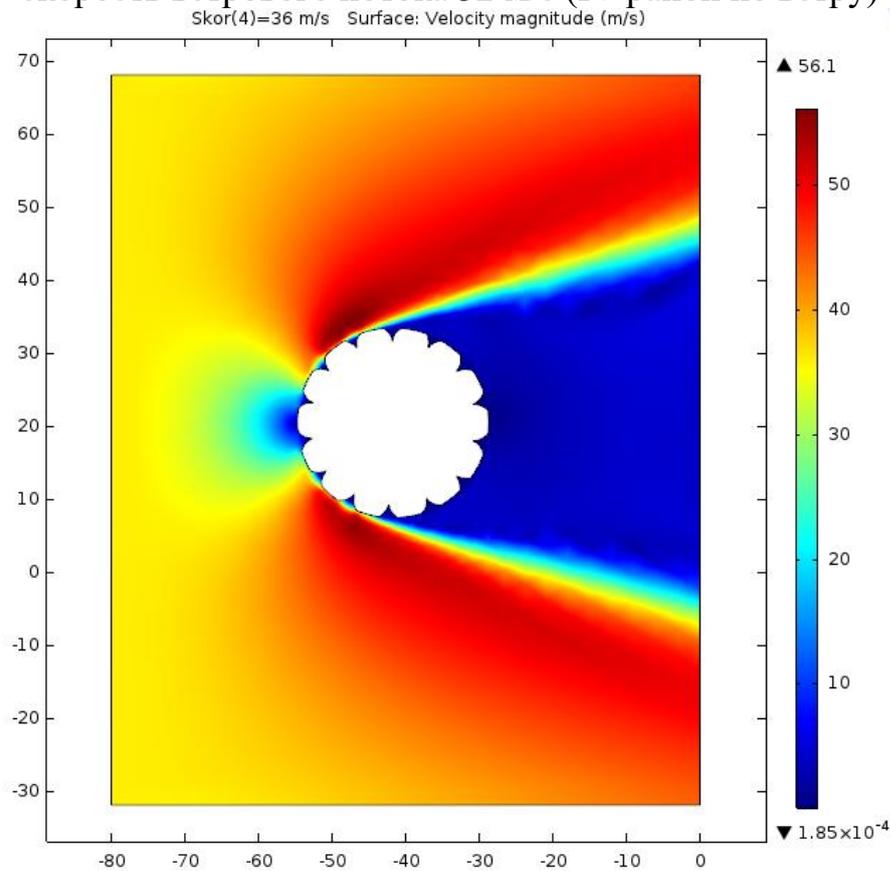
скорость ветрового потока 25 м/с (I район по ветру)



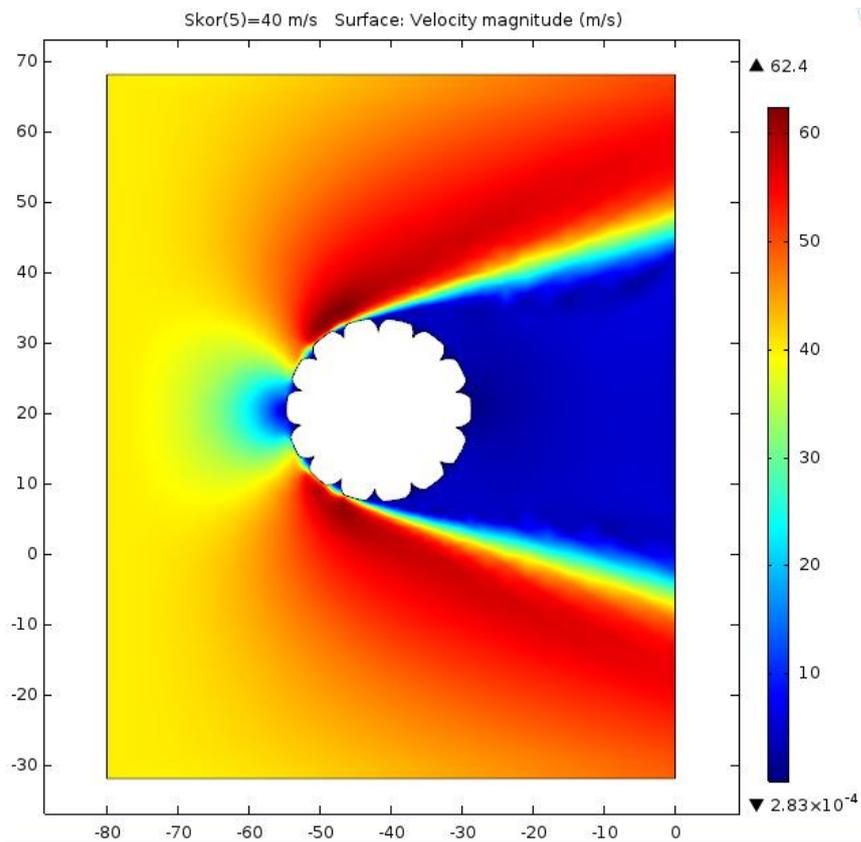
скорость ветрового потока 29 м/с (II и III районы по ветру)



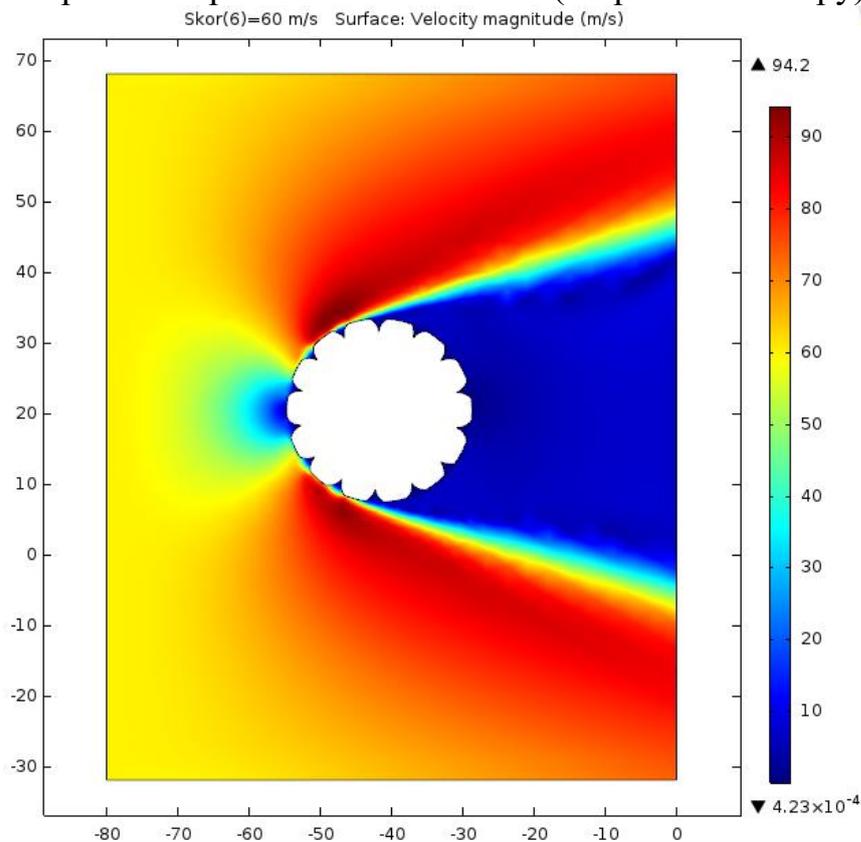
скорость ветрового потока 32 м/с (IV район по ветру)



скорость ветрового потока 36 м/с (V район по ветру)

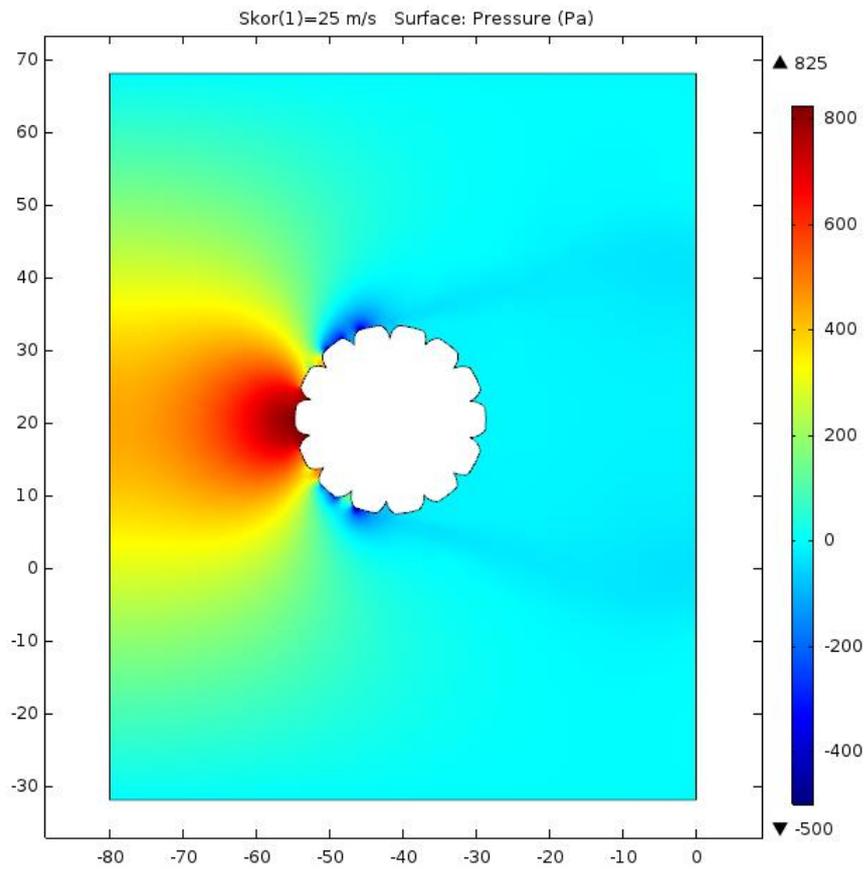


скорость ветрового потока 40 м/с (VI район по ветру)

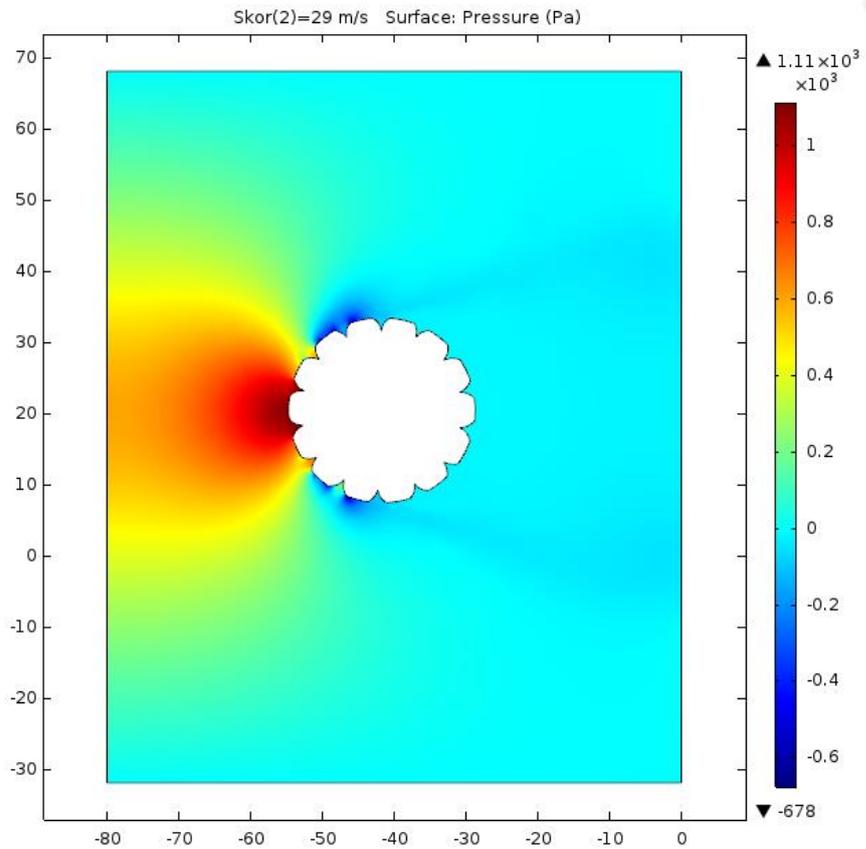


скорость ветрового потока 60 м/с (особый район по ветру)

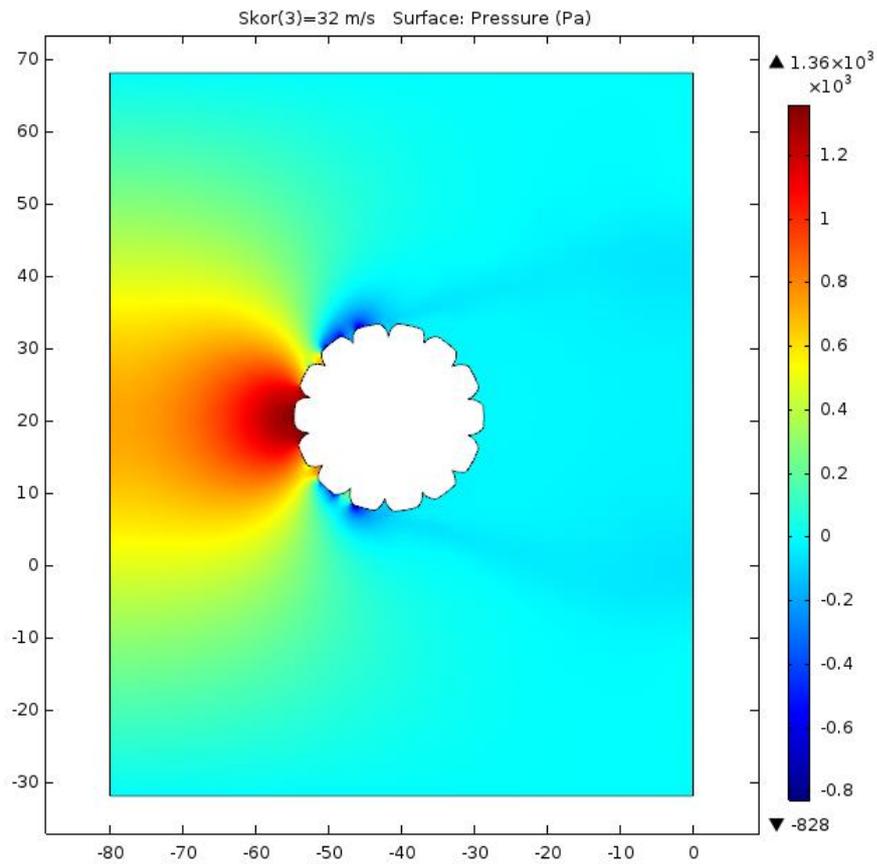
Рисунок 17. Визуализация результатов проведенных расчетов распределения скорости в воздушном потоке при обтекании провода АСВП или АСВТ371/109 СТО 71915393–ТУ 120–2012



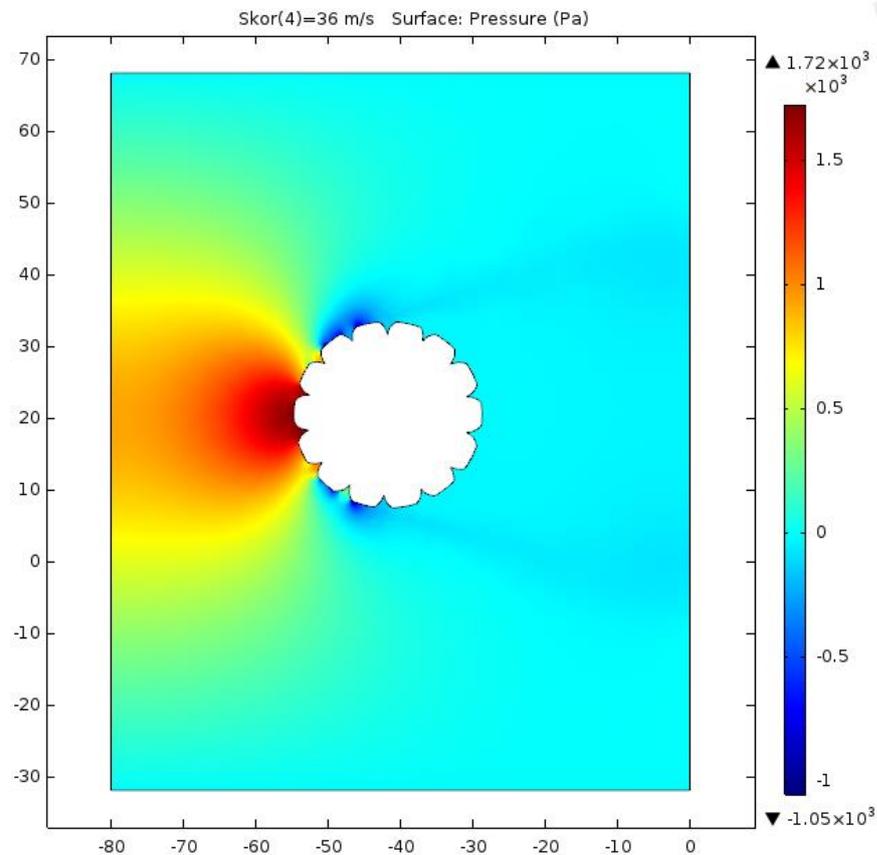
скорость ветрового потока 25 м/с (I район по ветру)



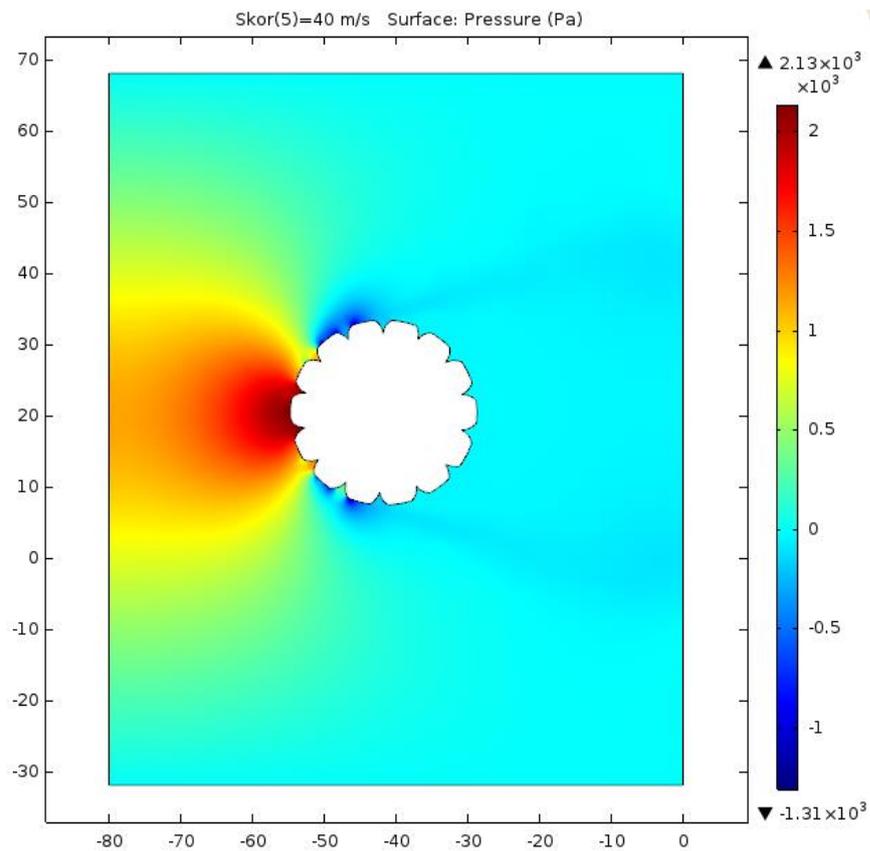
скорость ветрового потока 29 м/с (II и III районы по ветру)



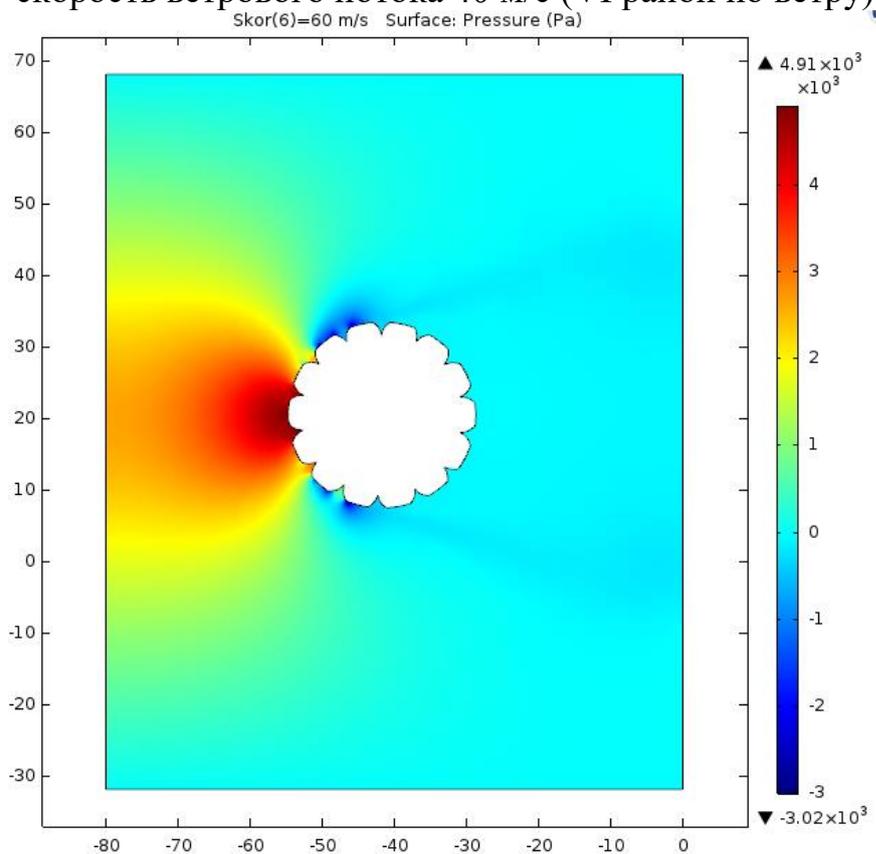
скорость ветрового потока 32 м/с (IV район по ветру)



скорость ветрового потока 36 м/с (V район по ветру)



скорость ветрового потока 40 м/с (VI район по ветру)



скорость ветрового потока 60 м/с (особый район по ветру)

Рисунок 18. Визуализация результатов проведенных расчетов распределения давления в воздушном потоке при обтекании провода АСВП или АСВТ371/109 СТО 71915393–ТУ 120–2012

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведенное моделирование пластического обжатия сталеалюминиевых проводов типа АСВП (или АСВТ) 461/64, 389/59, 403/61, 371/109 СТО 71915393–ТУ 120–2012 с использованием модуля Abaqus/Explicit программного комплекса SIMULIA/Abaqus показало, что у всех проводов алюминиевые проволочки внешнего повива плотно без зазоров прилегают друг к другу, что позволяет при моделировании воздействия ветра на провода, как на единую систему с одним внешним контуром.

2. Моделирование воздействия ветра на провода с использованием пакета программ COMSOL Multiphysics показывает, что применение пластического обжатия проводов АСВП (или АСВТ) СТО 71915393–ТУ 120–2012 позволяет снизить ветровую нагрузку на провода на 10-26% по сравнению с традиционными проводами типа АС ГОСТ 839-80 с близкими значениями площади алюминиевых слоев.

Литература

1. Правила Устройства Электроустановок ПЭУ (редакция 7), утвержденные приказом Министерства энергетики Российской Федерации от 8 июля 2002 г. № 204.
2. Johnson G.R., Cook W.H. A constitutive model and data for metals subjected to large strains, high strain rates and high temperatures // Proc. of 7th Symposium on Ballistics, Hague, Netherlands, 1983. – P. 541–547.
3. Степанов, Г. В. Обобщенная кривая деформирования высокопрочной стали в широком диапазоне скоростей деформации / Г. В. Степанов, В. И. Зубов // Проблемы прочности, 2004, № 2. - С. 77-86.
4. Кузькин, В. А. Применение численного моделирования для идентификации параметров модели Джонсона-Кука при высокоскоростном деформировании алюминия / В. А. Кузькин, Д. С. Михалюк // Вычислительная механика сплошных сред. 2010. Т. 3, №1. – С. 32–43.