«Аэродинамические эффекты ветрового воздействия и тепловизионная диагностика дымовых труб ТЭС»

Расчет перепада давлений

$$\Delta p_{\text{ст}} = \Delta p_{\text{ст.г}} - \Delta p_{\text{ст.н}}$$

$$\Delta p_{\text{ст.н}} = C_p \cdot \frac{\rho_{\text{в}} \cdot w_0^2}{2} \left(\frac{h_x}{h_0}\right)^{\alpha}$$

$$\Delta p_{\text{ст.г}} = p_{\text{д}0} - p_{\text{д}x} - \Delta\rho g h_x + \Delta p_{\text{тр}Hx}$$

Коэффициент давления

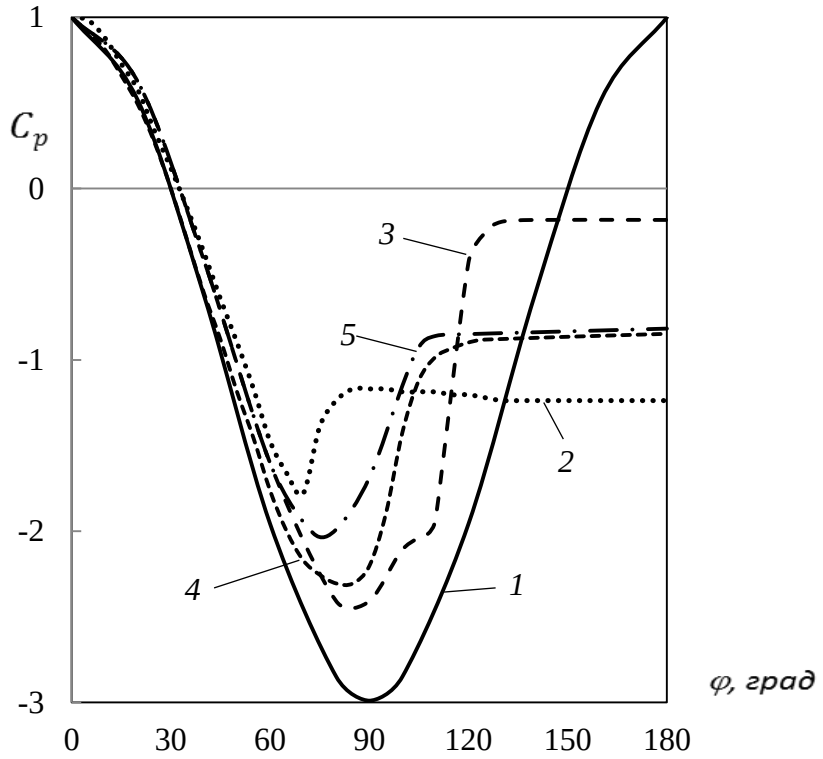


Рис. 1. Распределение давления на поверхности цилиндра
1 – потенциальное обтекание (теория); *2* – докритическое обтекание ($Re=10^5$); *3* - сверхкритическое обтекание ($Re=6{,}7x10^5$) ; *4* – транс-критическое обтекание ($Re=4{,}0x10^6$); *5* – транс-критическое обтекание ($Re=8{,}4x10^6$)

Зависимость $C_{p\ min}$ от числа Re

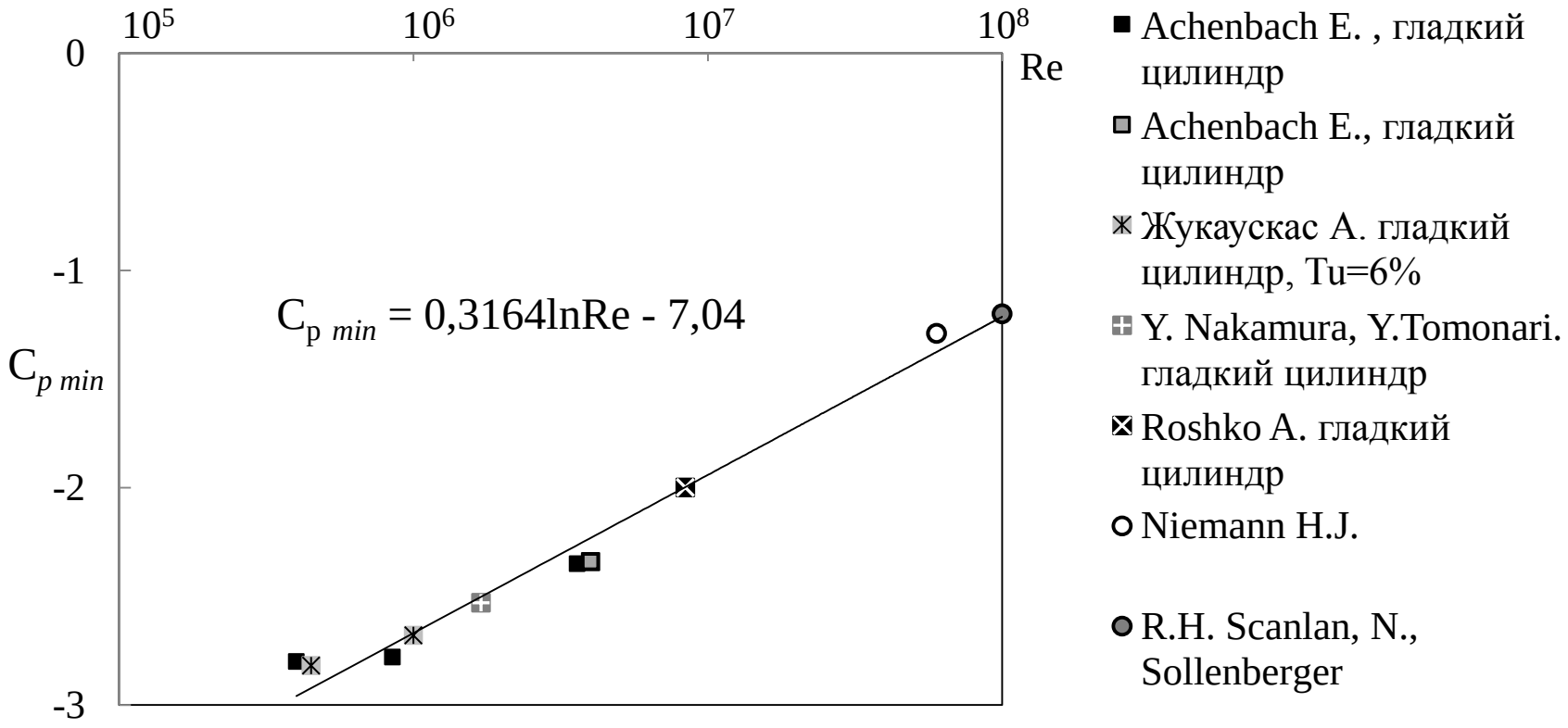


Рис. 2.

Зависимость φ_{min} от числа Re

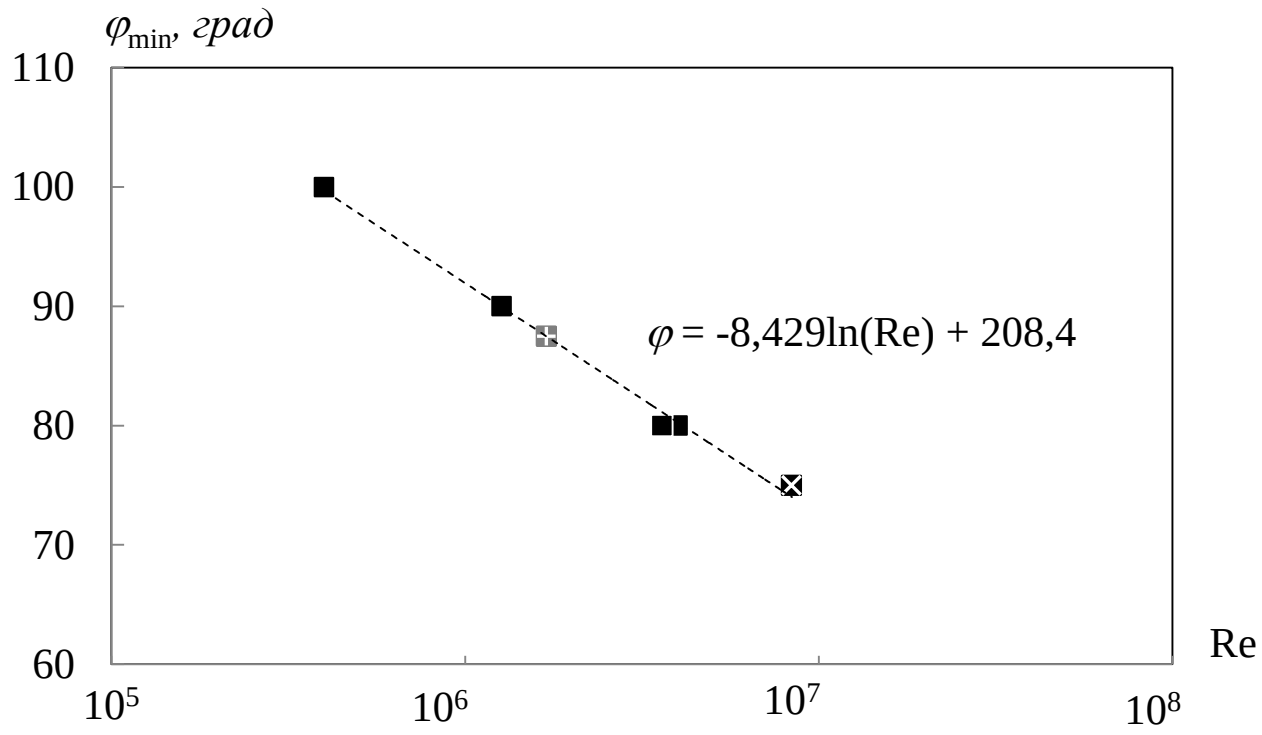
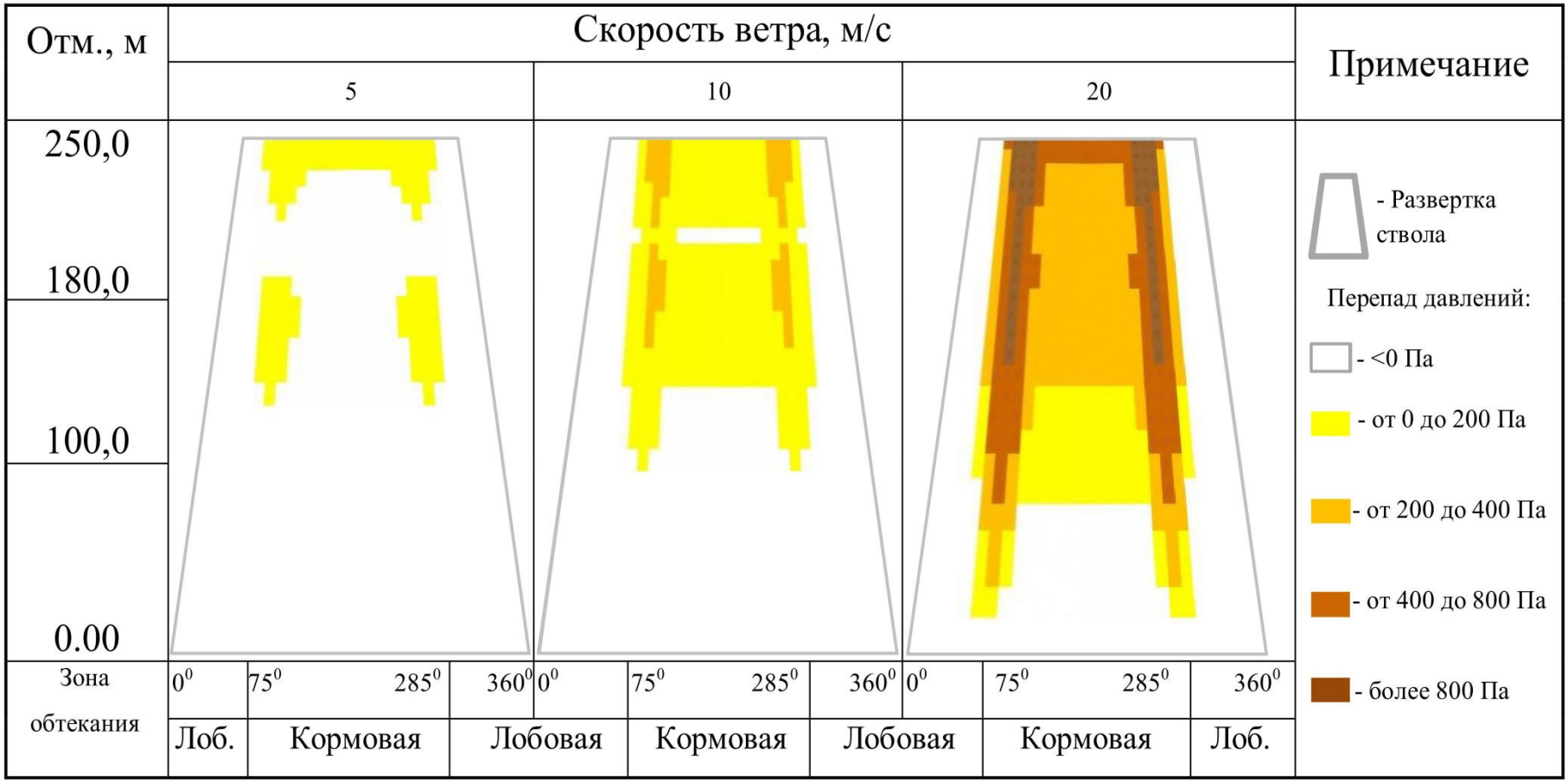


Рис. 3

Распределение статического давления на внешней поверхности ствола дымовой трубы

Азимут φ, град	$\Delta p_{ст.н}$, Па
0	$\frac{\rho_в \cdot w_0^2}{2}\left(\frac{h_x}{h_0}\right)^{\alpha}$
30	0
45	$(0,147 \cdot \ln(Re) - 3,08)\frac{\rho_в \cdot w_0^2}{2}\left(\frac{h_x}{h_0}\right)^{\alpha}$
60	$(0,23 \cdot \ln(Re) - 5,2)\frac{\rho_в \cdot w_0^2}{2}\left(\frac{h_x}{h_0}\right)^{\alpha}$
75	$(0,32 \cdot \ln(Re) - 7,04)\frac{\rho_в \cdot w_0^2}{2}\left(\frac{h_x}{h_0}\right)^{\alpha}$
90	$(0,42 \cdot \ln(Re) - 8,45)\frac{\rho_в \cdot w_0^2}{2}\left(\frac{h_x}{h_0}\right)^{\alpha}$
105	$(0,2 \cdot \ln(Re) - 4,14)\frac{\rho_в \cdot w_0^2}{2}\left(\frac{h_x}{h_0}\right)^{\alpha}$
120-180	$(0,11 \cdot \ln(Re) - 2,45)\frac{\rho_в \cdot w_0^2}{2}\left(\frac{h_x}{h_0}\right)^{\alpha}$

Распределение положительного перепада давлений при различной скорости ветра



2. Теплообмен ствола дымовой трубы и наружного воздуха

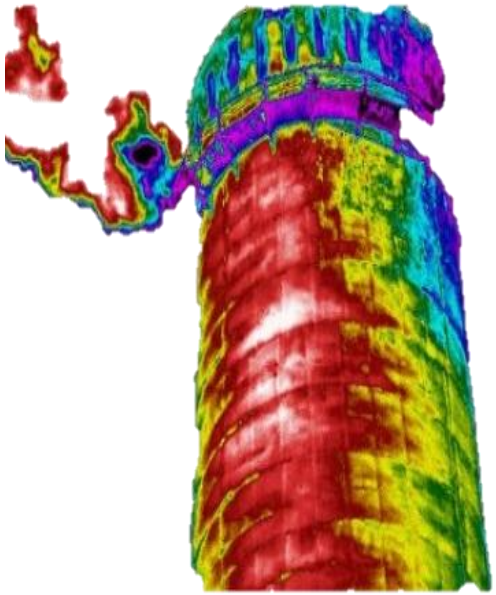


Рис. 4. Термограмма ствола дымовой трубы

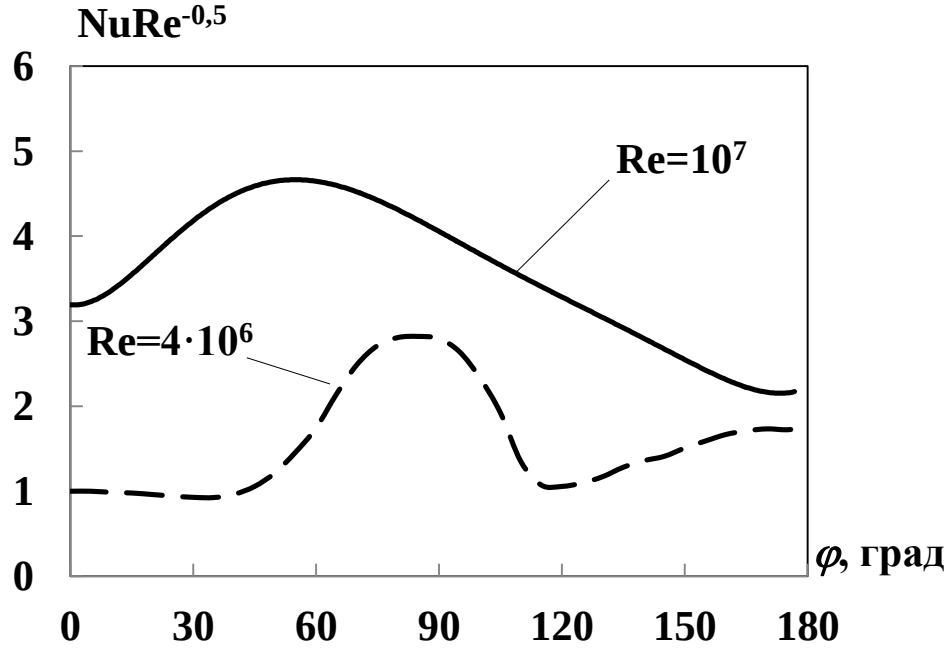


Рис. 5. Локальный коэффициент теплообмена

$$\overline{Nu_D} = 9.02 \cdot 10^{-4} \cdot Re_D^{1.01}$$

Сравнительный анализ распределения локального коэффициента теплообмена

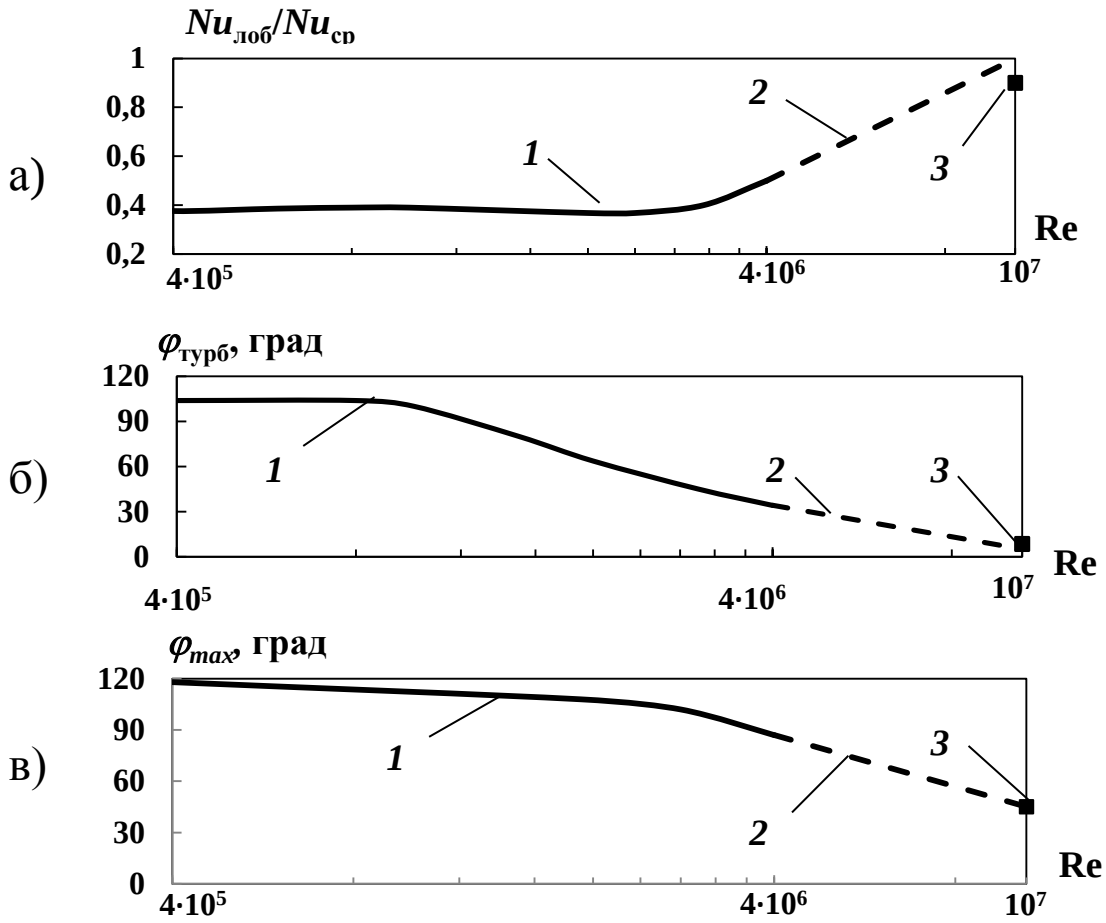


Рис. 6. Зависимости отношения $Nu_{лоб}/Nu_{ср}$ (*а*), положения точки перехода ламинарного режима обтекания в турбулентный (*б*) и положение точки максимума теплопередачи (*в*) от числа Рейнольдса

1 **– данные Е. Ахенбаха**
2 **– экстраполяция данных Е. Ахенбаха**
3 **– данные автора**

3. Аэродинамический эффект ветра и климатологический фактор

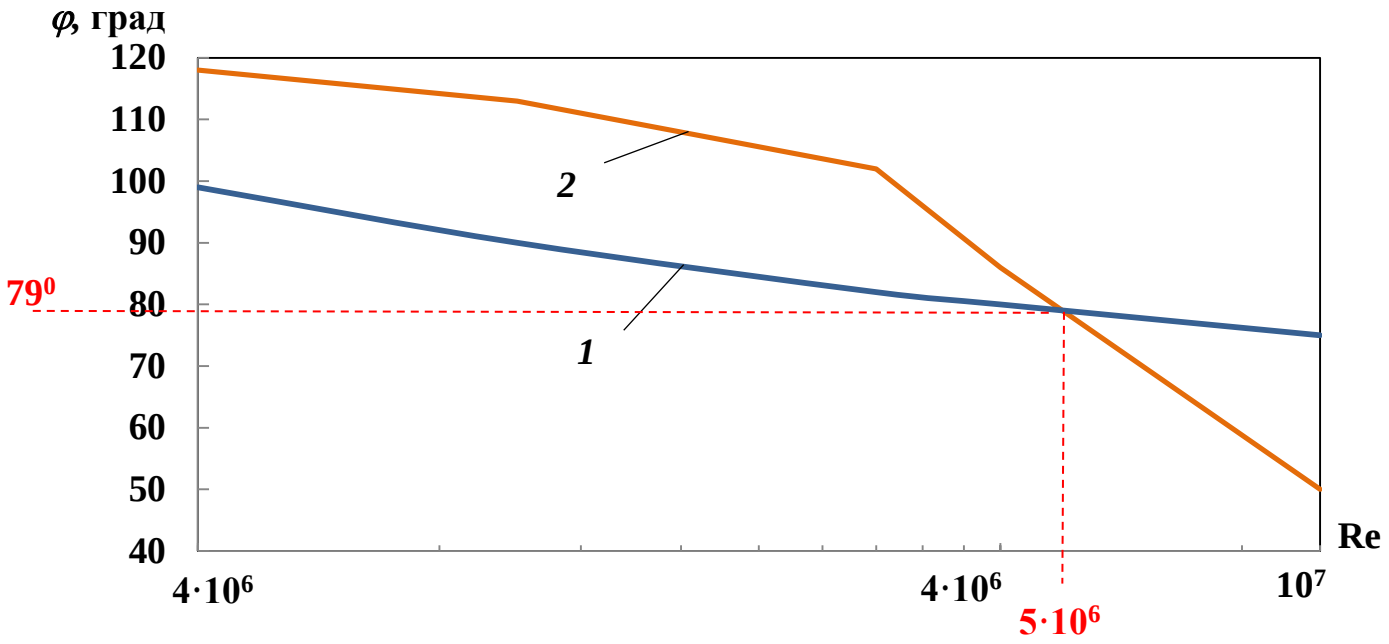


Рис. 7. Зависимости положения точки минимальных давлений φ_{min}^{p} (*1*) и положения точки максимального теплообмена φ_{max}^{α} (*2*) от числа Re

Аэродинамический эффект ветра «Re=5·10⁶»

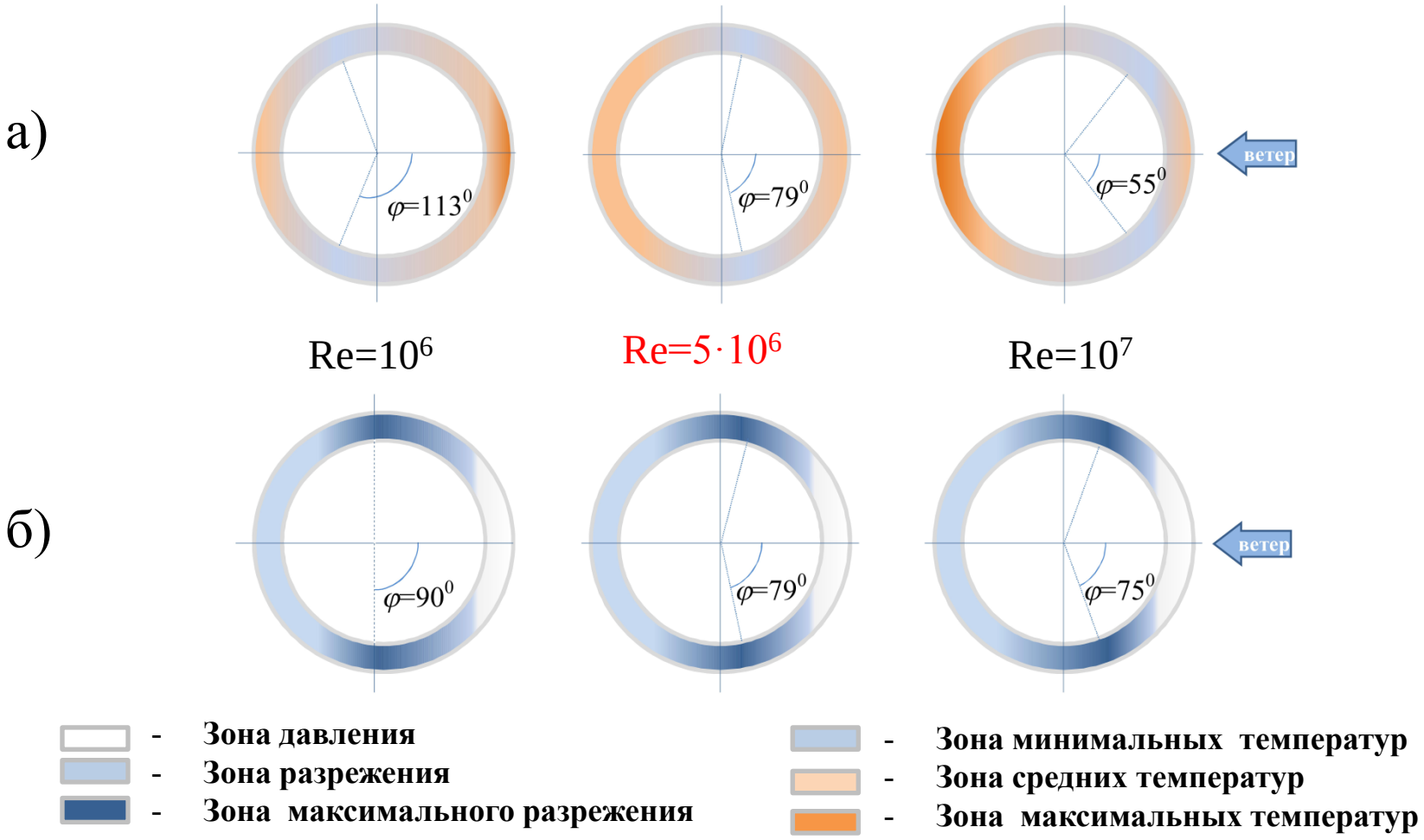


Рис. 8. Распределение температур (*а*) и давлений (*б*) в горизонтальном сечении ствола дымовой трубы при различных числах Рейнольдса

Климатологический фактор

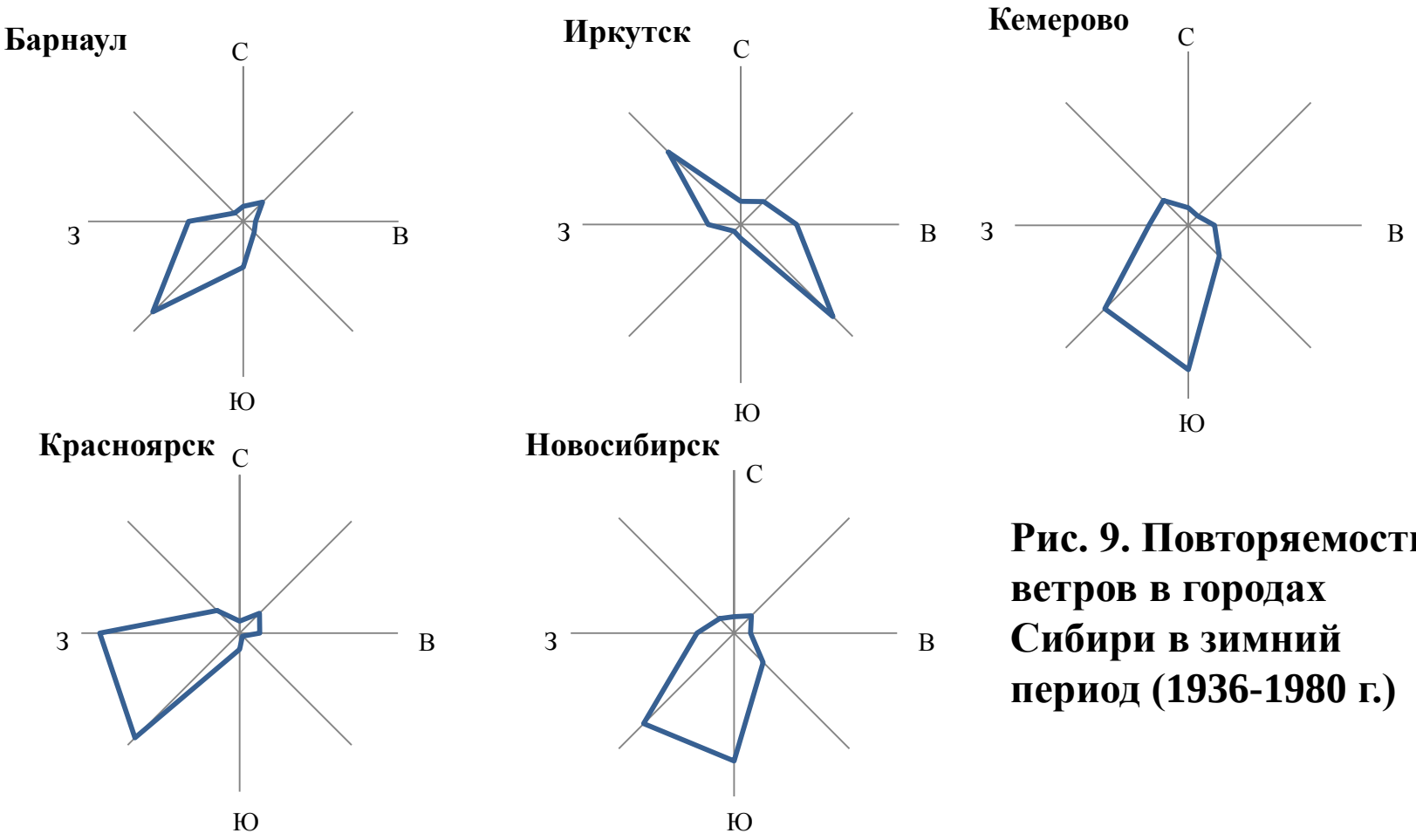


Рис. 9. Повторяемость ветров в городах Сибири в зимний период (1936-1980 г.)

Параметры ветров, имеющих преобладающие характеристики в зимний период (декабрь-февраль)

Город	Преобладающие ветра		Повторяемость сильного ветра		Скорость ветра			Наибольшая непрерывная продолжительность сильных ветров, ч	Максимальное число дней с сильными ветрами (≥15 м/с)
	Румб	%	Румб	%	Румб	Максимальная по румбу, м/с	Средняя по румбу, м/с		
Абакан	ЮЗ	34	ЮЗ	67	ЮЗ	20	7	27	8,2
Красноярск	ЮЗ	37	ЮЗ	56	ЮЗ	34	7	10	8,8
	З	35			З	28	5		
Кемерово	Ю	33	ЮЗ	–	ЮЗ	34	7,1	20	14
	ЮЗ	27							
Новосибирск	Ю	31	Ю	75	Ю	20	5	16	7,7
	ЮЗ	31			ЮЗ	28	6		
Томск	Ю	46	Ю	66	Ю	34	5,3	58	6,6

Оценка режима эксплуатации дымовых труб по условию $Re=5\cdot10^6$

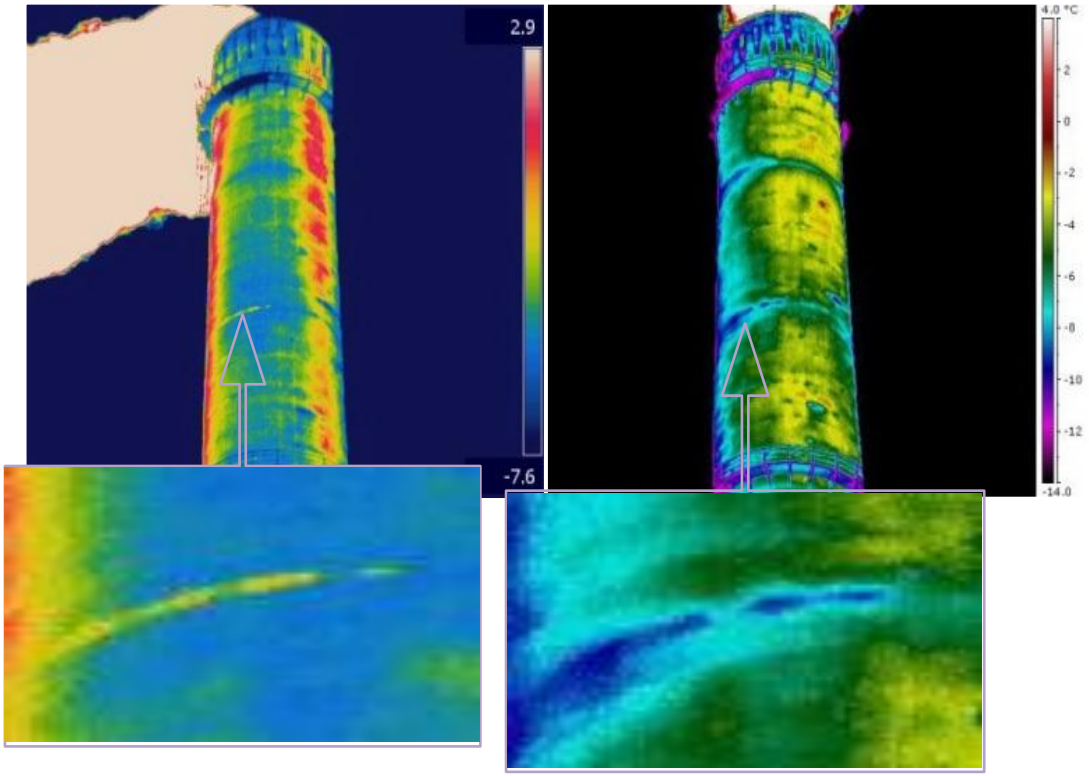
- **Типовая дымовая труба высотой H=250 м D_0=10 м**

При скорости ветра 5 м/с число Рейнольдса по высоте трубы изменяется от $6{,}8\cdot10^6$ до 10^7

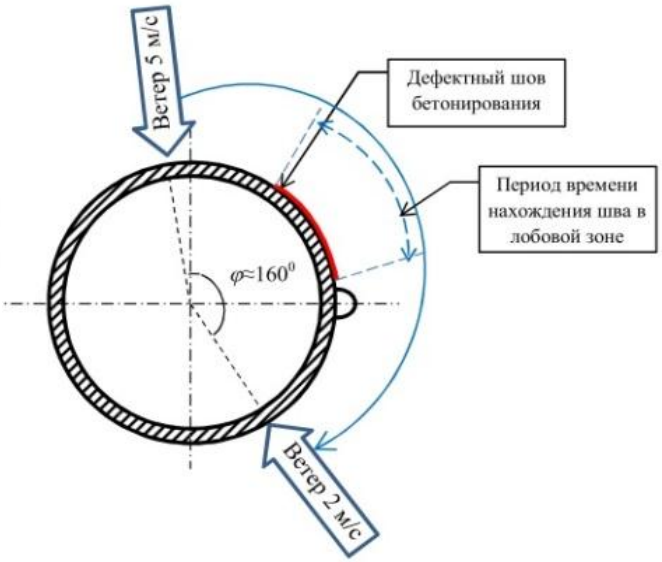
- **Типовая дымовая труба высотой H=120 м D_0=6 м**

Отм., м	Наружный диаметр, м	Скорость ветра на высоте флюгера (h_0=10 м), м/с					
		5		6		7	
		w_h	Re	w_h	Re	w_h	Re
120	6,9	7,3	4,04E+06	8,7	4,85E+06	10,2	5,66E+06
100	6,9	7,1	3,94E+06	8,5	4,72E+06	9,9	5,51E+06
80	7,9	6,8	4,34E+06	8,2	5,21E+06	9,6	6,08E+06
60	8,6	6,5	4,53E+06	7,9	5,43E+06	9,2	6,34E+06
40	9,4	6,2	4,66E+06	7,4	5,59E+06	8,6	6,52E+06
20	10,4	5,6	4,65E+06	6,7	5,58E+06	7,8	6,51E+06

4. Аэродинамические эффекты ветра и тепловизионная диагностика дымовых труб



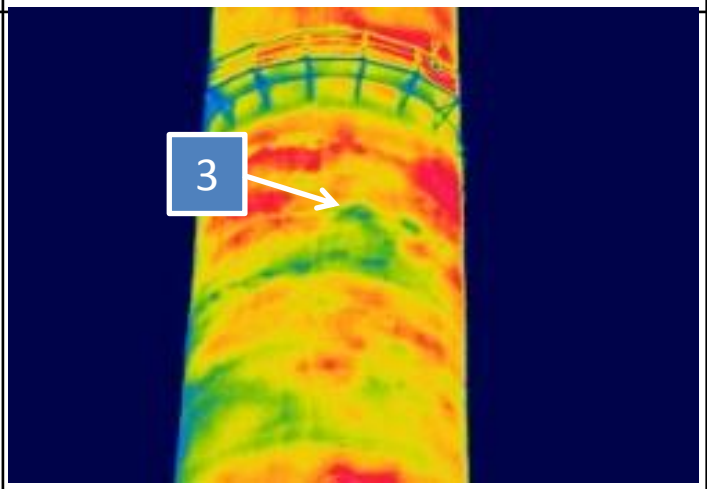
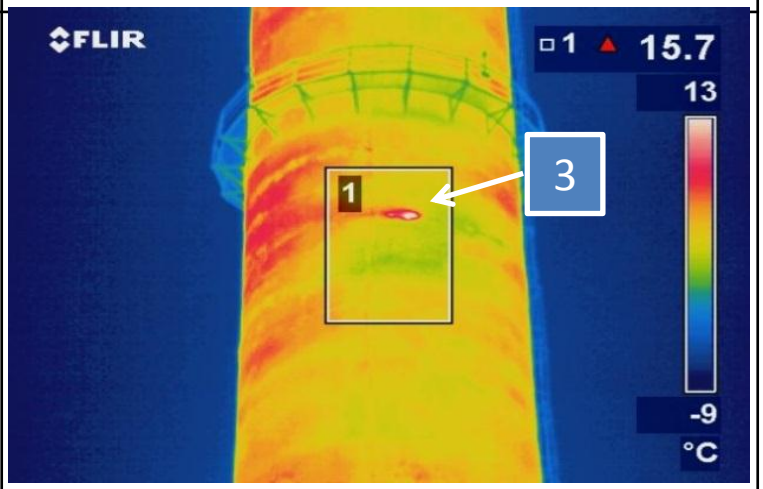
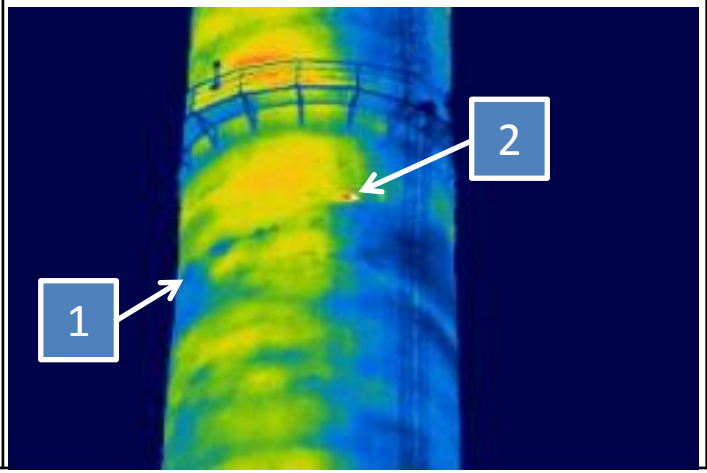
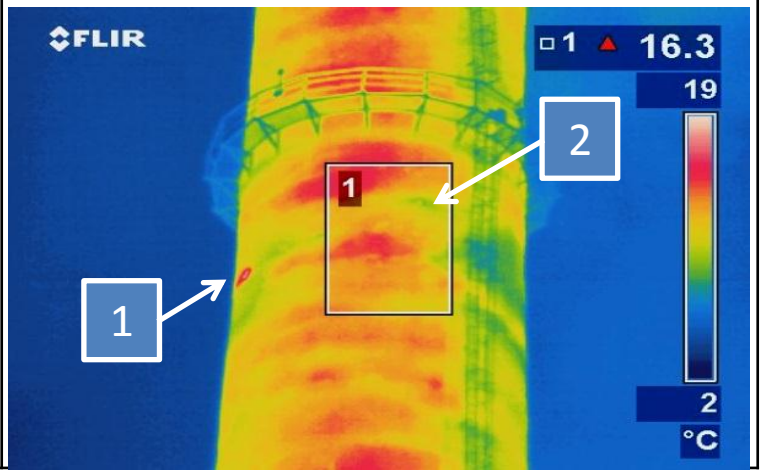
а)



б)

Рис. 10. Температурная аномалия по дефектному шву бетонирования: температура по шву выше фоновой *(а)* и ниже фоновой *(б)*; схема суточного хода направления ветра и положение дефектного шва бетонирования

Сравнение результатов тепловизионной съемки дымовой трубы *H*=150 м

Отм., м	10.10.2006	05.10.2006
120.0÷ 90.0		
60.0÷ 40.0		

Выводы

1. Преобладающий по направлению ветер, в сочетании с характерными для него наибольшими скоростями, за продолжительное время эксплуатации дымовых труб концентрировано воздействовал на одни и те же участки железобетонной оболочки, а с учетом особенностей распределения коэффициента давления и коэффициента теплообмена, воздействию эффекта «$Re=5\cdot10^6$» в большей степени были подвержены железобетонные дымовые трубы высотой от 100 до 150 м.

2. Корректная квалификация дефектного состояния промышленных дымовых труб при использовании метода тепловизионной диагностики может быть достигнута только при соблюдении следующих условий: тепловизионная съемка выполняется не менее двух раз с обязательным изменением направления ветра; анализ термографирования выполняется с использованием результатов расчета полей перепада давлений для соответствующих условий тепловизионной съемки