

ДИНАМИКА ОБЛЕДЕНЕНИЯ ВХОДНЫХ ВОЗДУХООЧИСТИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ МИКРОВЗРЫВЕ ПЕРЕОХЛАЖДЕННОЙ КАПЛИ ЖИДКОСТИ

А.Ф. Сальников, С.В. Словиков, И.А. Сибиряков

Пермский государственный технический университет

Рассмотрена динамика обледенения входных воздухоочистительных устройств трубопроводов при микровзрыве переохлажденной капли жидкости.

Трассы газопроводов пересекают территории с различными климатическими условиями, поэтому на газоперекачивающих станциях газоперекачивающие агрегаты (ГПА) эксплуатируются в широком диапазоне изменения температуры и влажности. Это приводит в ряде случаев к возникновению обледенения в их входных устройствах. Таким образом, важной задачей является снижение абсолютной влажности воздуха на входе в воздухозаборное очистительное устройство (ВОУ) ГПА.

Наиболее существенную роль в обледенении при низких температурах окружающей среды играет водность атмосферного воздуха. Доказано, что в жидком виде вода в виде капель диаметром около 20 мкм может находиться при температуре окружающего воздуха до -40 °С. При контакте капли с твердым телом происходит мгновенный фазовый переход из жидкого состояния в кристаллическое. Выделение тепла при фазовом переходе приводит к разрыхлению льда и формированию снега.

Данную задачу необходимо решать путем осаждения водности, находящейся в капельном состоянии, до ее попадания в ВОУ. Для этого представляется возможным конструктивное решение – использование дополнительных решеток на его входе.

В современных противообледенительных системах (ПОС), установленных на ГПА, понижают только относительную влажность атмосферного воздуха путем его подогрева, что зачастую оказывается недостаточно эффективным для борьбы с обледенением и энергозатратным.

Также проектирование ПОС происходит упрощенно, без глубокого анализа газо- и термодинамических процессов, происходящих в ВОУ конкретного типа ГПА. Это, в свою очередь, объясняется малой изученностью и сложностью вопросов движения гетерогенных двух-трехфазных потоков с фазовыми переходами.

Самым опасным видом атмосферных осадков с точки зрения возможности возникновения обледенения и его интенсивности являются туманы при отрицательных температурах. Именно в этих условиях зафиксированы случаи, когда происходило обмерзание входного устройства ГПА. Таким образом, и для создания дополнительных решеток, и для проектирования ПОС необходимо четко представлять структуру туманов – их интенсивность, водность и распределение в них капель по размерам.

Исследования показали, что туманы сходны по строению с облаками и состоят из мелких капель воды или, изредка, из кристаллов льда.

Интенсивность тумана определяется *метеорологической дальностью видимости (МДВ)* – это наибольшее расстояние, при котором яркостной контраст черной поверхности на фоне тумана достигает порогового значения, воспринимаемого глазом.

В зависимости от дальности видимости различают следующие виды туманов:

№	Вид тумана и дымки	МДВ (м)
1	Сильный туман	менее 50
2	Умеренный туман	менее 500
3	Слабый туман	менее 1000

Для описания плотности распределения радиусов капель в тумане наиболее широкое распространение получила логарифмически нормальная формула, подтвержденная экспериментальными данными [4]:

$$f(r) = \frac{1}{2\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln r - \ln r_0)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

где $r_0 = \sqrt[n]{r_1, r_2, \dots, r_n}$ – средний радиус капель; σ^2 – дисперсия $\ln r$.

Вид распределения капель по размерам в тумане можно представить графически (рис. 1).

Данное распределение характерно для туманов при отрицательной температуре [1].

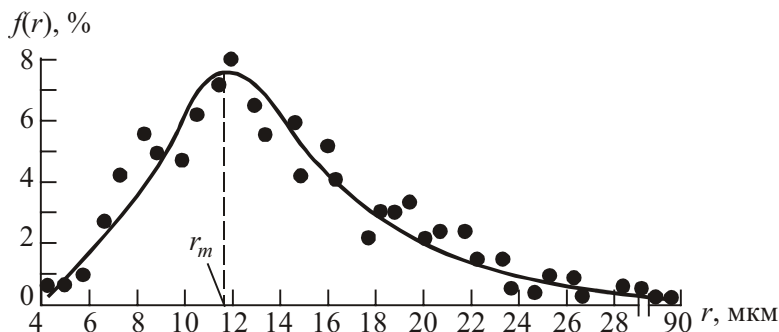


Рис. 1. Распределение капель по размерам в тумане при отрицательной температуре ($-9\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Для каждой интенсивности тумана характерен свой диапазон возможной влажности, что представлено ниже.

Интенсивность тумана	Слабый	Умеренный	Сильный
Влажность, г/м ³	0,02–0,04	0,05–0,11	0,08–0,37

Для туманов при отрицательной температуре над земной поверхностью характерна слабая и умеренная интенсивность, туманы же сильной интенсивности встречаются только над водными поверхностями. Кривая зависимости влажности тумана (σ) от температуры выглядит следующим образом (рис.2).

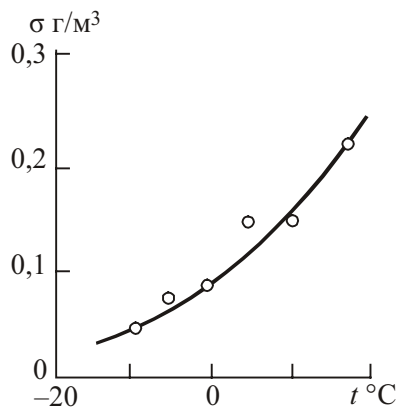


Рис. 2. Зависимость влажности от температуры

Разработка математических моделей, позволяющих достаточно адекватно описывать процесс обледенения с учетом формирования снежной массы на входе в циклон ВОУ, является актуальной задачей.

На кафедре разработана математическая модель движения капли воды и ее замерзания на входе без изменения объема. Данная модель имитирует холодный «взрыв» переохлажденной капли с формированием пространственной модели кристалла, из чего формируется снежная масса, тем самым уменьшая время обмерзания, что имитирует реальные условия работы ВОУ ГПА.

Физико-математическая модель процесса реализована в трех программах на языке программирования Си++. Программы откомпилированы для расчета на персональном компьютере под управлением операционной системы «Windows XP». Каждая программа относится к наиболее опасным с точки зрения обледенения районам воздушного тракта ВОУ ГТУ [2].

Первая программа «Ciklon» реализует физико-математическую модель газотермодинамических процессов на входе в фильтр воздушной очистки типа «циклон» [3].

Вводя в условие расчета новые значения температуры, из закона распределения капель – количество капель, подверженных «взрыву», что приводит к увеличению объема, занимаемого льдом при обмерзании, программа выдает новые значения процесса зарастания проходного сечения циклона.

Результаты исследований при различных температурных и скоростных режимах воздушного двухфазного потока приведены в таблице 1. Расчеты проводились при следующих условиях: температура окружающей среды – от $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$; скорость движения воздуха от 1,5 м/с до 7 м/с; количество «взорвавшихся» капель составляет 14,3 % от всего объема (только крупные капли более 18 мкм) при температуре $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ и 11,8 % при температуре $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Результат – время зарастания проходного сечения циклона в минутах.

Меняя данные по величине водности и количеству «взрывных» переохлажденных капель, можно исследовать влияние различных параметров на процесс обледенения, тем самым выявить наиболее критичный параметр влияния на процесс обледенения входного устройства ВОУ ГТУ.

Результаты моделирования

Параметр	1,5 м/с	2,0 м/с	2,5 м/с	3,0 м/с	3,5 м/с	4,0 м/с	4,5 м/с	5,0 м/с	5,5 м/с	6,0 м/с	7,0 м/с
9 °С	12,2	12,0	11,6	11,3	11,0	10,8	10,7	10,5	10,5	10,4	10,0
10 °С	12,3	12,1	11,7	11,4	11,1	10,9	10,7	10,6	10,5	10,3	10,0
11 °С	12,4	12,2	11,8	11,5	11,2	11,1	10,8	10,7	10,6	10,4	10,1
12 °С	12,5	12,3	11,9	11,7	11,3	11,1	10,9	10,7	10,6	10,4	10,2
13 °С	12,6	12,4	12,0	11,7	11,4	11,2	10,9	10,8	10,7	10,5	10,2
14 °С	12,7	12,5	12,2	11,8	11,5	11,3	11,0	10,8	10,7	10,5	10,3
15 °С	12,8	12,6	12,2	11,9	11,6	11,3	11,0	10,9	10,8	10,6	10,3

Анализ результатов моделирования показывает (таблица), что наиболее существенное влияние на процесс обмерзания играет скорость движения воздушной массы через ВОУ ГТУ. Понижение температуры в среднем на 1 °С приводит на 0,8 % увеличения времени обмерзания входа в циклон (уменьшение скорости обмерзания), а увеличение скорости потока на 1 м/с – к уменьшению времени почти на 9,8 %, т.е. увеличению скорости обмерзания конструктивных элементов входного устройства воздухоочистительного устройства ГТУ.

Список литературы

1. Кошленко И.В. Туманы. – М.: Гидрометеиздат, 1977. – 156 с.
2. Словиков С.В., Сальников А.Ф. Работоспособность фильтров входного тракта газоперекачивающего агрегата // Газовая промышленность: науч.-техн. и производств. журнал (учредитель ОАО «Газпром»). – 2007. – № 11. – С.76–78.
3. Словиков С.В., Сальников А.Ф. Болдырев К. Е. Математическое моделирование термо- и газодинамических процессов в воздухозаборном очистительном устройстве газоперекачивающего агрегата с учетом обледенения // Газовая промышленность: науч.-техн. и производств. журнал (учредитель ОАО «Газпром»). – 2006. – № 6. – С. 40–43.

Получено 19.07.2010