

## СОДЕРЖАНИЕ

### НАЦИОНАЛЬНОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ АКАДЕМИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН - 25 ЛЕТ

#### КЛЮЧЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

<i>Надиров Н.К.</i> У истоков интеграции науки, образования и производства .....	5
<i>Джомартов А.Ш.</i> Поднять престиж инженера .....	17
<i>Болотов А.В.</i> Развивается наука – процветает государство .....	20
<i>Битимбаев М.Ж., Кузьмин С.Л., Тюрбит А.Н., Джумабаев Е.И.</i> Проектирование оборудования для транспортирования горной массы в карьерах при контейнерной технологии .....	24

#### ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

<i>Жумагулов Б.Т., Асылбекулы А., Уткильбаев К.К., Жакебаев Д.Б.</i> Математическое моделирование процесса механоактивационного и акустического воздействия на физико-химические параметры углеводородной смеси .....	29
<i>Темирбеков Н.М., Тураров А. К.</i> Численное решение одномерной модели газлифтного процесса .....	35
<i>Манатбаев Р.К., Имангалиев Е.И., Турсынбаева А.Е.</i> Методика расчета расхода теплового воздуха через стенку лопастей работающего агрегата .....	43
<i>Тулешова А.А.</i> Моделирование динамических режимов опускания и подъема снаряда рентгенометрической каротажной станции .....	49
<b>НОВОСТИ НАУКИ И ТЕХНИКИ</b> .....	54

#### НЕФТЕХИМИЯ И ХИМИЯ

<i>Ныкмуканова М.М., Ескалиева Б.К.</i> Қазақстанның Алтай өңірінде өсетін Artemisia тұқымдасына жататын өсімдіктердің химиялық құрамын зерттеу .....	56
---	----

#### ТРАНСПОРТ

<i>Бекмагамбетов М. М.</i> Высокоскоростное движение – веление времени и технология будущего .....	63
--	----

## ГОРНОЕ ДЕЛО, МЕТАЛЛУРГИЯ

<i>Кожогулов К.Ч., Битимбаев М.Ж., Орынгожин Е.С., Джумабаев Е.И.</i> Техничко-экономические показатели инновационной технологии управляемого непрерывного кучного выщелачивания для условий рудника Акжал .....	70
--	----

## МЕХАНИКА И МАШИНОСТРОЕНИЕ

<i>Темирбеков Е.С., Бисмилдин И.Р.</i> Динамический анализ и конечно-элементный расчет на прочность подмостей .....	80
<i>Исламкулов К.М., Мырхалыков Ж.У., Раимбердиев Т.П.</i> Определение параметров циклической термической обработки и разработка нового способа повышения износостойкости и прочности деталей сельхозмашин .....	88

## ЭКОНОМИКА

<i>Медиева Г.А., Чигаркина О.А.</i> Функционирование нефтегазового комплекса Казахстана в контексте его ресурсоэффективного развития .....	96
<i>Соловьев В.И.</i> ISO 9001 - Международные правила управления бизнесом, жизнедеятельностью организаций .....	102
<i>Шайкин Д.Н.</i> Особенности организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в Сингапуре .....	109
<i>Зиядин С.Т., Молдажанов М.Б.</i> Факторы управления банковскими рисками в Казахстане .....	114
<i>Лашкарева О. В.</i> Целесообразность и методы формирования кластеров в сельском хозяйстве .....	121
<i>Капышева С.К., Турсумбаева М.Ж., Каменова М.Ж.</i> Некоторые аспекты внешней торговли Республики Казахстан со странами Центральной Азии .....	127
<b>ЗНАЕТЕ ЛИ ВЫ</b> .....	132

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

<i>Нурбатуров К.А., Кулибаев А.А., Дё И.М.</i> Основные физико-механические и эксплуатационные свойства отделочных покрытий .....	135
---	-----

## ЮБИЛЕЙНЫЕ ДАТЫ

<b>Бекбулатов Шамиль Хайруллович</b> (К 80-летию со дня рождения) ....	140
<b>Уалиев Гахип</b> (К 75-летию со дня рождения) .....	143
<b>Байнатов Жумабай Байнатович</b> (К 70-летию со дня рождения) .....	146
<b>Бишимбаев Валихан Козыкеевич</b> (К 70-летию со дня рождения) .....	148

<b>СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ</b> .....	152
----------------------------------	-----

**Р. К. МАНАТБАЕВ, Е. И. ИМАНГАЛИЕВ, А. Е. ТУРСЫНБАЕВА**

*Казахский национальный университет им. аль-Фараби*

## **МЕТОДИКА РАСЧЕТА РАСХОДА ТЕПЛОВОГО ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ СТЕНКУ ЛОПАСТЕЙ РАБОТАЮЩЕГО АГРЕГАТА**

*Одним из возможных путей защиты наружной поверхности работающей ветротурбины от налипания мокрого снега является подогрев теплым воздухом, протекающим по внутренним каналам аппарата. Тепловая защита является более радикальным средством. Рассматриваются методика расчета расхода теплового воздуха через стенку реального аппарата. С использованием эту методики были определены расходы полного количество тепла на стенках специфического канала.*

**Ключевые слова:** ветротурбина, число Рейнольдса, теплый воздух, скорость ветра, лопасть.

*Жұмыс істеп тұрған жел турбинасының сыртқы бет жақтарын қар жабысуынан мүмкін болатын қорғаудың бір жолы, аппараттың ішкі арналары бойымен ағатын жылы ауамен жылыту болып табылады. Жылулық ауаның нақты аппараттың қабырғасынан жұмсалуды есептеу әдістемесі қарастырылады. Бұл әдістемені қолдана отырып, арнайы каналдың қабырғаларындағы толық жылу мөлшерінің шығыны анықталды.*

**Кілттік сөздер:** жел турбинасы, Рейнольдс саны, жылы ауа, жел жылдамдығы, қалақша.

*One possible way to protect the outer surface of the operating wind turbines on wet snow is heated by warm air flowing through the internal channels apparatus. Thermal protection is a more radical way. Discusses the method of calculation of the heat flow of air through the wall of the machine. Using this technique, the total costs were determined amount of heat on the walls of a particular channel.*

**Keywords:** wind turbine, warm air, Reynolds number, wind speed, blade.

**Введение.** Схема движения теплого воздуха в полости ветротурбины карусельного типа заключается в следующем. Воздух с расходом  $Q_0$  движется по кольцевому каналу вращающегося вала, затем в равной доле ( $Q_0/2$ ) поступает в 2 маха, подходит к рабочим лопастям и здесь вновь раздваивается – одна половина расхода ( $Q_0/4$ ) движется по верхней половине лопасти и выбрасываются в атмосферу, другая половина расхода ( $Q_0/4$ ) проходит по нижней половине и тоже выходит в атмосферу [1]. Тепло снимается с наружных поверхностей вала вращения, махов и рабочих лопастей. Для течения в махах и лопастях задача получается симметричной относительно оси вращения турбины, так что достаточно рассмотреть течение и теплообмен в одном из махов и одной половинке лопасти.

В этой статье рассматривается методика расчета расхода теплового воздуха через стенку реального аппарата.

**Методика расчета.** Она строится следующим образом. Вначале необходимо определить расход теплого воздуха внутри маха. Для расчета потери тепла через стенку канала определим силу, необходимую для перемещения массы теплого воздуха в канале маха. Массовый расход равен  $\rho Q_m$  (где  $Q_m$  – объемный расход воздуха внутри маха в единицу времени) и имеет размерность кг/с.

Если этот массовый расход умножить на среднерасходную скорость  $\rho Q_m u_{срм}$ , то получим движущую силу, которая перемещает массу со средней скоростью  $u_{ср}$  и

имеет размерность силы [Н]. Разделив эту силу на площадь сечения канала, найдем выталкивающую воздух силу, приходящуюся на единицу площади  $\frac{\rho Q_M u_{\text{срм}}}{S_M}$  с размерностью Н/м<sup>2</sup>. Эта сила должна быть равна действующей на массу центробежной силе минус силе вязкого сопротивления канала, т.е.

$$\frac{\rho \omega^2 I_M^2}{2} - \frac{\zeta_M I_M \rho u_{\text{срм}}^2}{2d_{\text{эм}}} = \frac{\rho Q_M u_{\text{срм}}}{S_M},$$

где  $\rho$  – плотность воздуха;  $\omega$  – угловая скорость вращения турбины;  $\zeta_M$  – коэффициент гидравлического сопротивления канала [2];  $I_M$  – длина маха;  $d_{\text{эм}}$  – эквивалентный диаметр канала;  $S_M$  – площадь поперечного сечения канала;  $Q_M$  – объемный расход подогретой воздушной массы;  $u_{\text{срм}}$  – скорость ветра.

Или

$$\frac{\omega^2 I_M^2}{2} - \frac{\zeta_M I_M Q_M^2}{2d_{\text{эм}} S_M^2} + \frac{Q_M^2}{S_M^2} = 0. \quad (1)$$

Учитывая, что  $\omega^2 I_M^2 = V^2$ ,  $\frac{Q_M^2}{S_M^2} = u_{\text{срм}}^2 \zeta = 4,62 \text{Re}_{\text{эм}}^{-0,488}$ , где  $\text{Re}_{\text{эм}} = \frac{u_{\text{срм}} d_{\text{эм}}}{\nu} = \frac{4Q_M}{\nu \Phi_M}$ ,

$$\text{Re}_u^2 + 2,31 \frac{I_M}{d_{\text{эм}}} \text{Re}_u^{1,512} - \frac{d_{\text{эм}}^2}{2\Phi_M^2} \text{Re}_v^2 = 0 \quad (2)$$

решение, которое даст величину расхода теплого воздуха внутри маха за счет естественной вентиляции [3]. Этот расход теплого воздуха распределяется в равной доле по двум половинкам рабочей лопасти, что дает возможность определить  $\text{Re}_{\text{шт}}$  в рабочей лопасти. Так как воздух должен выбрасываться из двух отверстий, расположенных на концах лопасти, то расход воздуха в каждой половинке лопасти уменьшается вдвое:

$$Q_{\text{л}} = \frac{Q_M}{2}, \quad (3)$$

соответственно изменяются величины  $u_{\text{срл}}$  и  $\zeta_{\text{л}}$  в лопасти.

При построении методики теплового расчета необходимо иметь в виду, что  $F_{\text{зн}} - F_{\text{зв}} = \Delta$  – толщина стенки;  $T_{\text{w2}} = T_{\text{w1}} - \frac{q\Delta}{\lambda_k}$ ,  $q$  – количество тепла, передаваемое через стенку в окружающую среду,  $\lambda_k$  – коэффициент теплопроводности материала стенки.

Вследствие линейного изменения температуры теплого воздуха в канале температура внутренней поверхности его  $T_{\text{w1}}$  приводит к постоянству разности  $T - T_{\text{wb}} = \bar{T} - \bar{T}_{\text{wb}} = k$ . Очевидно, при постоянной толщине стенок канала и однородности материала ( $\lambda_k = \text{const}$ ), из которого изготовлена лопасть, температура наружной поверхности  $T_{\text{wh}}$  будет отличаться от  $T_{\text{wb}}$  на постоянную величину  $T_{\text{wb}} - T_{\text{wh}} = \text{const}$ . Таким образом, все 3 функции  $T(\bar{z})$ ,  $T_{\text{wb}}(\bar{z})$ ,  $T_{\text{wh}}(\bar{z})$  параллельны друг другу. Уравнения (1) и (2) определяют полные количества тепла, отдаваемого из канала в целом. Что

касается уравнения (3), то теплоотдача от наружной стенки лопасти к набегающему потоку меняется по длине канала, так как  $T_{\text{вн}}$  снижается, а  $T_{\infty} = \text{const}$ . Это уравнение следует записать в виде

$$q_{\text{лн}}(\bar{z}) = \alpha_{\text{лн}} F_{\text{лн}} (T_{\text{вн}}(\bar{z}) - T_{\infty}).$$

Чтобы найти полное количество тепла, отдаваемого наружной поверхности лопасти потоком следует проинтегрировать последнее уравнение по длине лопасти:

$$q_{\text{лн}} = \int_0^1 q_{\text{лн}}(\bar{z}) d\bar{z} = \alpha_{\text{лн}} F_{\text{лн}} \int_0^1 (T_{\text{вн}}(\bar{z}) - T_{\infty}) d\bar{z} = \alpha_{\text{лн}} F_{\text{лн}} (\bar{T}_{\text{вн}} - T_{\infty}), \quad (4)$$

где  $q_{\text{лн}}$  – количество тепла, отдаваемого наружной поверхности лопасти;  $T_{\infty}$  – температура окружающей среды;  $F_{\text{лн}}$  – площадь поверхности канала;  $\bar{T}_{\text{вн}}$  – средняя температура наружной поверхности канала;  $T_{\text{лн}}$  – температура наружной поверхности лопасти;  $\alpha_{\text{лн}}$  – коэффициент теплоотдачи.

Процесс теплоотдачи движущейся лопасти набегающему на него потоку описывается следующей системой уравнений  $T_{\text{лн}}$ :

$$\begin{aligned} q_{\text{л}} &= \rho Q C p (T_{0\text{л}} - T_{1\text{л}}), \\ q_{\text{лв}} = q_{0\text{л}} &= \alpha_{\text{лв}} F_{\text{лв}} (\bar{T}_{\text{л}} - \bar{T}_{\text{влл}}) = \tau_{\text{лв}} C p \frac{F_{\text{лв}}}{u_{\text{ср}}} (\bar{T}_{\text{л}} - \bar{T}_{\text{вб}}), \end{aligned} \quad (5)$$

$$\bar{T}_{\text{влл}} = \bar{T}_{\text{влл}} - \frac{q_{\text{л0}} \Delta}{\lambda_{\text{л}} F_{\text{л}}},$$

$$q_{\text{лн}} = \alpha_{\text{лн}} F_{\text{лн}} (\bar{T}_{\text{вн}} - T_{\infty}) = \tau_{\text{лн}} C p \frac{F_{\text{лн}}}{u_{\text{ср}}} (\bar{T}_{\text{вн}} - T_{\infty}),$$

где  $T_{0\text{л}}$  – начальная температура входящего в канал газа;  $T_{1\text{л}}$  – температура выходящего из канала газа;  $\tau_{\text{лн}}$  – напряжение трения;  $\lambda_{\text{л}}$  – коэффициент теплопроводности материала стенки;  $\Delta$  – толщина стенки.

При этом следует иметь в виду, что

$$T_{\text{лвн0}} = \bar{T}_{\text{лвн}} + \frac{T_{\text{лвн0}} - T_{\text{лвк1}}}{2}; \quad T_{\text{лвн0}} = \bar{T}_{\text{лвн}} + \frac{T_{\text{лвн0}} - T_{\text{лвк1}}}{2}$$

или

$$T_{\text{лвн0}} = 2\bar{T}_{\text{лвн}} - \bar{T}_{\text{лвн1}},$$

$$T_{\text{лвн1}} = 2\bar{T}_{\text{лвн}} - \bar{T}_{\text{лвн0}},$$

$$F_{\text{лн}} = F_{\text{лв}} - 2\Delta l_{\text{л}}.$$

Соответственно средняя температура воздуха в лопасти

$$\bar{T}_{\text{л}} = \frac{T_{0\text{л}} + T_{1\text{л}}}{2}.$$

Можно также представить в виде:

$$\bar{T}_n = \frac{T_{0n} - T_{1n}}{2} + T_{1n}, \quad (6)$$

$$T_n = \bar{T}_{0n} - \frac{T_{0n} - T_{1n}}{2}. \quad (7)$$

Сделаем следующую операцию: из уравнения (5) имеем

$$\bar{T}_n - \bar{T}_{\text{впл}} = \frac{q_{0n} u_{\text{ср}}}{\tau_{\text{лн}} c_p F_{\text{лн}}} = \Delta I_1^{\text{лн}}.$$

Сложив эти два уравнения, придем к равенству

$$\bar{T}_n - T_{\infty} + \bar{T}_{\text{впл}} - \bar{T}_{\text{впл}} = \bar{T}_n - T_{\infty} - \frac{q_0 \Delta}{\lambda_n F_n} = \Delta I_1^{\text{лн}} + \Delta I_2^{\text{лн}},$$

или

$$\bar{T}_n = T_{\infty} + \frac{q_0 \Delta}{\lambda_n F_n} + \Delta I_1^{\text{лн}} + \Delta I_2^{\text{лн}}.$$

Преобразуем среднюю температуру теплого воздуха  $\bar{T}_n$  по формуле (6) и запишем

$$\bar{T}_{1n} - T_{\infty} = \frac{q_0 \Delta}{\lambda_n F_n} + \Delta I_1^{\text{лн}} + \Delta I_2^{\text{лн}} - \Delta I_3^{\text{лн}}, \quad (8)$$

$$\tau_{\text{лв}} = \frac{\zeta}{8} \rho u_{\text{ср}}^2.$$

Для канала, имеющего форму крылового профиля NASA – 0021,

$$\zeta = 4,62 \text{Re}^{-0,488}.$$

Соответственно для внешней задачи

$$\tau_{\text{лн}} = 0,0296 \text{Re}_v^{-0,2} \rho V^2.$$

Используя выражения для  $\tau_{\text{лв}}$  и  $\tau_{\text{лн}}$ , запишем

$$\Delta T_1^{\text{лн}} = \frac{q_{0n}}{\frac{\zeta}{8} \rho u_{\text{ср}} \frac{\lambda}{\mu} F_{\text{лн}}},$$

$$\Delta T_2^{\text{лн}} = \frac{q_{0n}}{0,0296 \text{Re}_v^{-0,2} \rho V \frac{\lambda}{\mu} F_{\text{лн}}},$$

$$\Delta T_3^{\text{лн}} = \frac{q_{0n}}{2 \rho Q \frac{\lambda}{\mu}} = \frac{2 q_{0n}}{\text{Re}_u \Phi \lambda}.$$

Приведем последние равенства к удобному для вычислений виду:

$$\Delta T_1 = \frac{32S q_{0п}}{4,62 \text{Re}_u^{0,512} \lambda \Phi^2 l_{п}},$$

$$\Delta T_2 = \frac{q_{0п}}{0,0296 \text{Re}_v^{0,8} \lambda l_{п}},$$

$$\Delta T_3 = \frac{2q_{0п}}{\text{Re}_u \Phi \lambda}.$$

Подставим выражение (9) в (8) и получим

$$T_{1п} - T_{\infty} = q_{0п} \left[ \frac{6,93S}{\text{Re}_u^{0,512} \lambda \Phi^2 l_{п}} + \frac{33,8}{\text{Re}_v^{0,8} \lambda l_{п}} + \frac{\Delta}{\lambda \Phi l_{п}} - \frac{2}{\text{Re}_u \Phi \lambda} \right], \quad (9)$$

где  $T_{1п}$  – температура на выходе из канала;  $T_{\infty}$  – температура окружающей среды;  $q_{0п}$  – полное количество тепла, отдаваемая через стенки канала;  $\Phi$  – смоченный периметр этого сечения;  $\text{Re}$  – число Рейнольдса.

Таким образом, последнее уравнение дает возможность определить полное количество тепла  $q_{0п}$ , отданное лопастью окружающей среде с температурой  $T_{\infty}$ , так как  $T_{1п}$  мы задаем сами, а все величины, стоящие в квадратных скобках, могут быть определены количественно при заданных геометрических и динамических параметрах задачи. Нетрудно видеть, что величины, стоящие в квадратных скобках, обратно пропорциональны числам Рейнольдса, и при больших их значениях достаточно малы, что приводит к высоким значениям  $q_{0п}$ . Поэтому при расчете необходимо подбирать значения  $\text{Re}$  или, что то же самое, подбирать величину  $Q_0$ . Используя последнее уравнение, мы определили полное количество тепла и получили зависимость расхода полного количества тепла, отдаваемого через стенки канала в зависимости от скорости ветра.

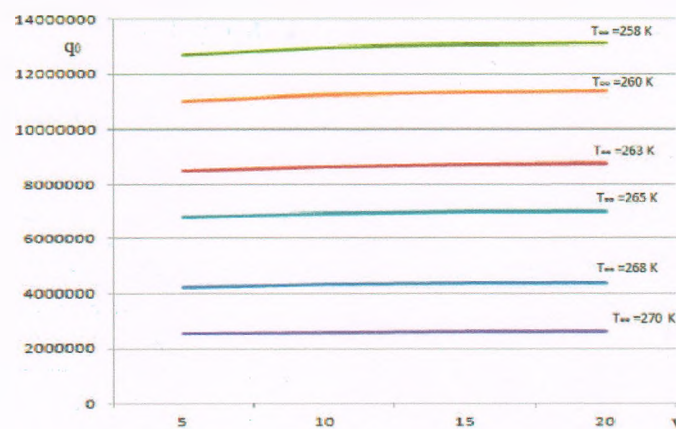


Рисунок 1 – Зависимость расхода полного количества тепла, отдаваемого через стенки канала от скорости ветра