МИНИСТЕРСТВО НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
ТЮМЕНСКИЙ ФИЛИАЛ ИНСТИТУТА "ГИПРОТРУБОПРОВОД"

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
Р С Ф С Р
Тюменский индустриальный институт им.Ленинского комсомола

Руководящий документ

М Е Т О Д И К А
РАСЧЕТА ОХЛАЖДЕНИЯ НЕФТИ В АППАРАТАХ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

РД-39-30-992-84

1984

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель Министра

_____ Б.И. Кремнев

"29" июня 1982 г.

МЕТОДИКА
РАСЧЕТА ОХЛАЖДЕНИЯ НЕФТИ В АППАРАТАХ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ
РД-39-30-992-84

НАСТОЯЩИЙ ДОКУМЕНТ РАЗРАБОТАН:

Тюменским филиалом института "Гипротрубопровод"

Директор, к.т.н. _____ Н.А. Малюшин

"13" сентября 1982 г.

Тюменским индустриальным институтом им.Ленинского комсомола

Проректор по научной работе,

профессор _____ Ю.С. Папин

"13" сентября 1982 г.

Ответственные исполнители:

Главный специалист технического

отдела, к.т.н. _____ А.П. Неволин

"13" 09 1982 г.

СОГЛАСОВАНО:

Начальник Главтранснефти, к.т.н. _____ В.Д. Черняев

"25" х 1982 г.

Начальник Технического управления _____ Ю.Н. Байдиков

"23" 12 1982 г.

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

Методика расчета охлаждения нефти в аппаратах воздушного охлаждения

РД-39-3С- 992-84

Вводится впервые

Приказом Министерства нефтяной промышленности от 12.01.84г. № 39

Срок введения с 1 июля 1984г.

Срок действия до 1 июля 1989г.

Методика предназначена для использования в отрасли нефтепроводного транспорта при проектировании способа охлаждения нефти с помощью аппаратов воздушного охлаждения.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Настоящая методика предназначена для расчета установки охлаждения (УО), состоящей из аппаратов воздушного охлаждения (АВО), служащей для охлаждения потоков нефти, температура которых повышается в результате выделения тепла трения и превышает критическое значение, определяемое по методике [4]. По методике рассчитываются оптимальная компоновка АВО и их общее количество.

I.2. Критерий оптимальности задачи-минимум приведенных затрат.

I.3. Методика может быть использована для расчета охлаждения других теплоносителей.

I.4. Под компановкой понимается любое из возможных соединений (параллельное, последовательное и смешанное) между собой АВО в технологическую установку.

I.4.I. При охлаждении жидкостей технологически оптимальной является схема УО в виде прямоугольника, характеризующаяся шириной и длиной.

I.4.2. Шириной УО на. вается число АВО, соединенн параллельно (рис.I).

I.4.3. Длиной УО называется число АВО в установке, соединенных последовательно (см.рис.I).

I.5. Произвольно заданному значению ширины УО (N_1) соответствует определенная длина (N_2) установки, которая определяется из условия достижения требуемой температуры охлаждения потока.

I.6. При заданных условиях охлаждения существует такая ширина $N_1^{опт}$ и соответствующая ей длина УО $N_2^{опт}$, при которых приведенные затраты минимальны.

I.7. Результаты расчета УО зависят от технологической обвязки АВО в установке, которая позволяет отключать вышедший из строя аппарат и переключаться на резервный (см.рис.I).

I.8. Установка охлаждения состоит из эквивалентных структурных элементов. Структурный элемент включает в себя: АВО без вентиляторов, вентиляторы, задвижки.

Выделение вентиляторов и секций АВО необходимо для составления функции приведенных затрат из-за различного срока их службы.

I.9. Методика позволяет решать следующие задачи:

- определять оптимальное соотношение между длиной и шириной УО;
- выбирать тип и коэффициент оребрения АВО, отвечающие минимуму приведенных затрат;
- определять оптимальный угол установки лопастей вентиляторов;
- находить оптимальное количество резервных АВО при выбранной технологической обвязке;

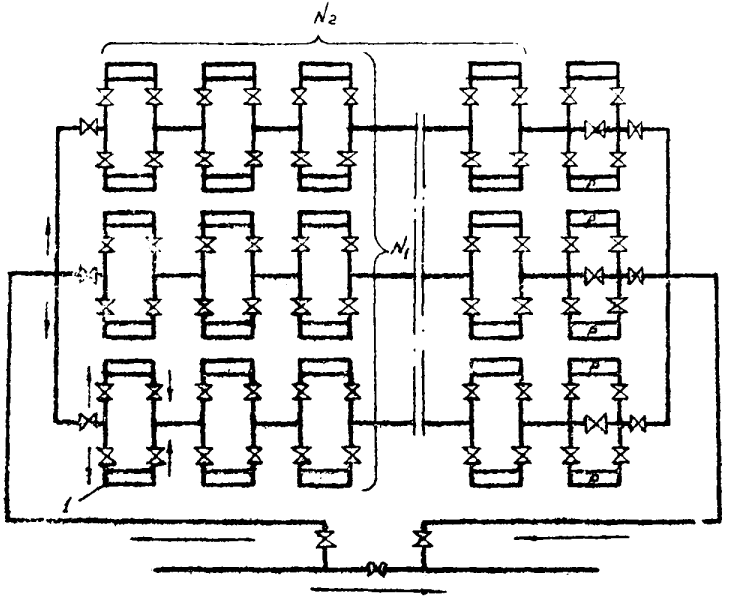


Рис.1 Технологическая схема установки охлаждения.

– определять длину УО при изменяющихся температурах охлаждающего воздуха ($t_в$) и теплоносителя ($t_т$).

I.I0. При эксплуатации УО в условиях изменяющихся температур воздуха и теплоносителя регулировать температуру охлаждаемого потока можно двумя способами:

– изменением угла установки лопастей вентиляторов в АВО при неизменной структуре УО;

– изменением длины УО при неизменном положении лопастей вентиляторов.

I.II. Эксплуатация УО требует наиболее простого и надежного способа регулировки температуры, следовательно это требование следует рассматривать как ограничение возможной динамики установки. По этой причине в методике принят второй из указанных способов регулирования температуры.

I.I2. Список используемых обозначений приведен в приложении I.

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА

Исходные данные должны включать:

2.I. Конструктивные данные АВО:

2.I.I. Тип АВО;

2.I.2. Количество секций – $N_с$;

2.I.3. Количество рядов труб в секции – $N_т$;

2.I.4. Площадь сечения одного хода секции с числом труб, равным четырем – $S_ч$;

2.I.5. Длину теплообменных труб – L ;

2.I.6. Коэффициент увеличения площади поверхности – Ψ ;

2.I.7. Количество вентиляторов – $N_в$;

2.I.8. Диаметр теплообменных труб – D ;

2.I.9. Площадь поверхности теплообмена – F ;

2.I.I0. Срок службы вентилятора и АВО - $\tau_в, \tau_{АВО}$;

2.2. Аэродинамические характеристики вентиляторов:

2.2.I. Производительность вентилятора - $G_в$;

2.2.2. К.П.Д. вентилятора - $\eta_в$;

2.2.3. Потери напора воздуха в секции - $\Delta p_в$;

2.3. Характеристику охлаждаемого теплоносителя:

2.3.I. Зависимость плотности - ρ , теплопроводности - λ удельной теплоемкости - C_t , кинематической вязкости - ν от температуры;

2.3.2. Значение коэффициента объемного расширения - $\beta_о$;

2.3.3. Температуру начала массовой кристаллизации парафина - $T_{нв}$

2.4. Характеристику воздуха:

2.4.I. Температуру на входе в АВО - $t_{во}$;

2.4.2. Удельную теплоемкость - $C_в$;

2.4.3. Плотность - $\rho_в$;

2.4.4. Расчетную температуру воздуха - $t_р$;

2.5. Характеристику потока:

2.5.I. Начальную температуру теплоносителя - t_1 ;

2.5.2. Температуру конечного охлаждения - t_2 ;

2.5.3. Производительность охлаждаемого потока - $G_п$;

2.6. Прочие исходные данные:

2.6.I. КПД насосных перекачивающих агрегатов - η ;

2.6.2. Потери давления в АВО - Δp ;

2.6.3. Коэффициент загрязнения внутренней поверхности труб - $r_з$;

2.6.4. Стоимость одного АВО без вентилятора - $S_{АВО}$;

2.6.5. Стоимость вентилятора - $S_в$;

2.6.6. Стоимость задвижки - $S_з$;

2.6.7. Стоимость электроэнергии - $S_э$;

2.6.8. Расчетный период работы УО - $\Delta\tau$;

2.6.9. Параметр потока отказов - ω ;

2.6.10. Среднее время восстановления структурного элемента - τ ;

2.6.11. Затраты на ликвидацию одного отказа - $З_в$;

2.6.12. Удельный ущерб от простоя (например, нефтепровода) вследствие отказа УО - $У_0$;

2.6.13. Удельный ущерб от простоя в системе переработки и добычи соответственно - $В_2$, $А_2$;

2.6.14. Коэффициенты снижения времени простоя в системе добычи и переработки - β_1 , β_2 ;

2.7. Исходные данные по всем пунктам 2.1 ÷ 2.6 определяются следующим образом:

п.2.1 и 2.2. Принимаются по номенклатуре заводов-изготовителей, каталогам ВНИИнефтемаша и справочной литературе.

п.2.3. Определение характеристик жидкости охлаждаемого потока необходимо провести в лаборатории на жидкости, предназначенной непосредственно для перекачки:

п. 2.3.1. Определение плотности жидкости производится при температуре 20°С. При других температурах плотность вычисляется по формуле:

$$\rho(t) = \frac{\rho_{20}}{1 + \beta_0 (t-20)} \qquad (2.1)$$

Удельная теплоемкость и коэффициент теплопроводности определяются по формулам Крего:

$$C_1(t) = \frac{1.324 \cdot 10^5}{\sqrt{\rho_{15}}} \left(0.403 + 0.00081 \cdot t\right) \qquad (2.2)$$

$$\lambda(t) = \frac{1.175 \cdot 10^2}{\rho_{15}} \left(1 - 0.00054 \cdot t\right) \qquad (2.3)$$

Кинематическая вязкость определяется по формуле Филонова-Рейнольдса:

$$\nu(t) = \nu_0 \exp[-u(t-t_0)], \qquad (2.4)$$

где ν_0 – кинематическая вязкость при температуре t_0, выбранной в диапазоне изменения температуры жидкости в процессе охлаждения;

$u = \frac{1}{t_2 - t_0} \ln \frac{\nu_0}{\nu_2}$ – коэффициент крутизны вискограммы;

ν_2 – кинематическая вязкость при температуре t_2;

п. 2.3.2. Коэффициент объемного расширения (β_0), выбирается по табл. I приложения 2.

п. 2.3.3. Температура начала массовой кристаллизации парафина из нефти определяется согласно РД 39-30-577-81 [4].

п. 2.4.I + 2.4.3. Принимается по СНиП и климатическим справочникам.

п. 2.4.4. Расчетная температура воздуха находится по методике [3]:

а) Исходные данные для построения графиков в различных районах страны приведены в климатических справочниках и частично, в работе [3].

б) Годовой интервал изменения температуры воздуха разбивается на участки шириной I°C. Определяется число часов в году, в течение которых температура была в пределах I-го участка, 2-го, 3-го и т.д. Строится график (см. рис.П.2 Приложения 4) зависимости процента общегодового времени, соответствующего любому интервалу температур от максимальной температуры;

в) Расчетная температура воздуха принимается равной температуре, охватывающей 8400 часов (95%) (см.рис.П.2) годового периода по построенному графику.

п.2.5.I. Динамика температуры потока нефти в течение года определяется по формулам РД 39-30-577-8I [4] при проектировании нефтепровода или принимается по фактическим данным за прошедшие годы для эксплуатируемого трубопровода.

п.2.5.2. Рассчитывается по методике [4] или задается технологическими требованиями к УО.

п.2.5.3. Задается технологическими требованиями к УО.

п. 2.6.I. Находится по каталогам насосов.

п. 2.6.2. Определяются по формуле:

$$\Delta P = \left(\xi \frac{L}{D} + \sum_{i=1}^{n} \xi_i\right) \frac{\rho w^2}{2} \qquad (2.5)$$

п. 2.6.3. Коэффициент загрязнения для нефутерованных труб принимается по таблице 2 (Приложение 2), а для футерованных - принимается равным термическому сопротивлению материала внутреннего покрытия - $\frac{D}{2\lambda_\phi} \ln \frac{D}{D-2\delta}$

п.2.6.4 - 2.6.7. Берутся из соответствующих прейскурантов.

п.2.6.8. Находится по графикам пункта 2.4.4 (рис.П.2),

п.2.6.9 и 2.6.I0. Определяются по данным эксплуатации АВО. При отсутствии данных принимается $R_i = 0{,}98$.

п. 2.6.II - 2.6.I4. Определяются по рекомендациям РД 39-30-I07-78 и РД 39-30-494-80 [I,2] .

3. РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ НА ВЫХОДЕ ИЗ АППАРАТА ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

3.I. Основой расчета компоновки УО является расчет температуры теплоносителя на выходе из АВО, которая является начальной температурой для последующего, последовательно установленного аппарата.

3.2. Искомая температура определяется из решения системы уравнений:

$$K\theta F = \frac{G_0 c_1}{N_1}(t_1 - t) \qquad (3.I)$$

$$\frac{G_0 c_1}{N_1}(t_1 - t) = G_в c_2 (t_в - t_{в0}) \qquad (3.2)$$

3.3. Задается значение $t_в$ в интервале $t_{в0} \le t_в \le t_1$.

3.4. Из уравнения (3.2) определяется значение t:

$$t = t_1 - \frac{G_в C_в N_1}{G_0 C_1}\left(t_в - t_{в0}\right) \qquad (3.3)$$

3.5. Определяются средние значения:

$$t_{ср} = \frac{t + t_1}{2}, \quad t_{ср} = \frac{t_в + t_{в0}}{2} \qquad (3.4)$$

3.6. По формулам (2.1 ÷ 2.4) находятся ν, C_1, λ, ρ при $t_{ср}$

3.7. Определяется температурный напор:

$$\theta = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln \frac{\theta_1}{\theta_2}} \cdot \varepsilon_{\Delta t} \qquad (3.5)$$

где $\theta_1 = t_1 - t_в, \quad \theta_2 = t - t_{в0}$;

$$\varepsilon_{\Delta t} = \frac{\left(\frac{\sqrt{R^2+1}}{R-1}\right)\ln\left(\frac{1-P}{1-PR}\right)}{\ln\left[\frac{2-P(1+R-\sqrt{R^2+1})}{2-P(1+R+\sqrt{R^2+1})}\right]} \qquad R \neq 1$$

$$\varepsilon_{\Delta t} = \frac{\sqrt{2}P}{(1-P)\ln\left[\frac{2-P(2-\sqrt{2})}{2-P(2+\sqrt{2})}\right]} \qquad R = 1$$

$$R = \frac{t_в - t_{в0}}{t_1 - t}, \quad P = \frac{t_1 - t}{t_1 - t_в}, \qquad R < 1$$

$$R = \frac{t_1 - t}{t_в - t_{в0}}, \quad P = \frac{t_в - t_{в0}}{t_1 - t_{в0}}, \qquad R > 1$$

3.8. Задается температура стенки t'_w из интервала $t_в < t'_w < t_{ср}$ и определяется полный коэффициент теплопередачи по формуле:

$$K = \frac{1}{\frac{\Psi}{\alpha_{вн}} + \frac{1}{\alpha_н} + \Psi r_з} \qquad (3.6)$$

3.9. Коэффициенты теплоотдачи находятся в следующем порядке:

3.9.1. При ламинарном режиме течения теплоносителя ($Re < 2300$) коэффициент теплоотдачи определяется по формуле:

$$\alpha_{in} = 0.17 \frac{\lambda}{D} Re_f^{0.33} Pr_f^{0.43} Gr_f^{0.1} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w}\right)^{0.25} \qquad (3.7)$$

3.9.2. При турбулентном режиме движения теплоносителя ($Re > 10000$) коэффициент теплоотдачи определяется по формуле:

$$\alpha_{in}^{T} = 0.021 \frac{\lambda}{D} Re_f^{0.8} Pr_f^{0.43} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w}\right)^{0.25} \qquad (3.8)$$

3.9.3. Для режима движения в интервале числе Рейнольдса $2300 \leq Re \leq 10000$ коэффициент теплоотдачи определяется по формуле:

$$\alpha_{in} = \alpha_{in}^{T} \cdot \varphi_{Re}, \qquad (3.9)$$

где φ_{Re} определяется по графику рис.2 [3].

Для расчетов на ЭВМ эта зависимость аппроксимирована с помощью комплекса программ RFD-RDK (с погрешностью не более 3%) выражением:

$$\varphi_{Re} = 0.943 + 0.00001081 \cdot Re - \frac{3.46 \cdot 10^4}{Re^2} \qquad (3.10)$$

3.9.4. Коэффициент теплоотдачи к воздуху определяется по формуле:

$$\alpha_H = (a_1 - a_2 \bar{t}_в)\left[(a_3 + a_4 \bar{t}_в) V\right]^{a_5 + a_6 \bar{t}_в}, \qquad (3.11)$$

где $a_1, a_2 \ldots a_6$ – постоянные коэффициенты, принимаемые по табл. 3 приложения 2.

3.10. Вычисляется температура стенки из соотношения:

$$t_w = t_{ср} - \frac{K \Theta F}{\alpha_{in}} \qquad (3.12)$$

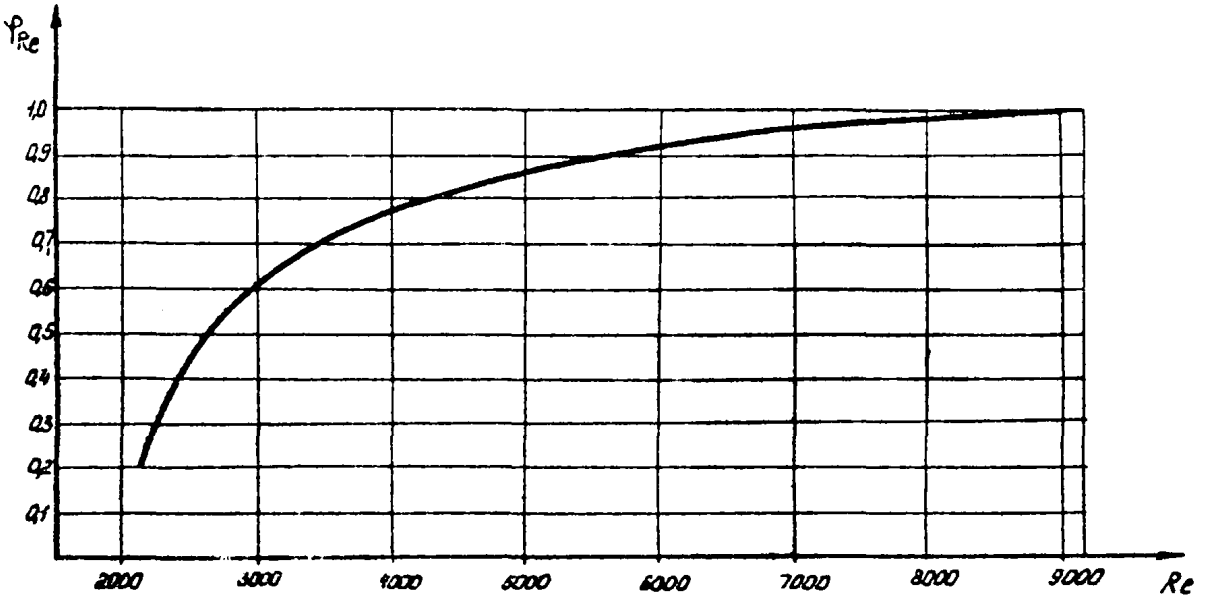


Рис.2. Поправочный коэффициент φ_{Re} для переходного режима.

3.II. Сравниваются t'_w и t_w . Если они не совпадают, то следует изменить значение t'_w и повторять расчет до тех пор, пока не будет выполняться неравенство $|t'_w - t_w| \leq \varepsilon = 0.01°C$

3.I2. С полученным значением K проверяется равенство (3.I). Если оно не выполняется, то изменяется t_1 и повторяется расчет с пункта 3.3 до тех пор, пока не будет выполнено равенство 3.I).

3.I3. Приведенный алгоритм расчета t реализован в программе методом половинного деления интервала изменения t_1 (Приложение 3).

4. НАДЕЖНОСТЬ УСТАНОВКИ И ЕЕ РЕЗЕРВИРОВАНИЕ.

4.I. УО должна быть оснащена определенным резервом АВО с целью исключения влияния ее отказов на работу взаимосвязанных с ней объектов, в системе которых рассматривается охлаждение.

4.2. Расчет резервирования УО производится на основе теории надежности объектов, состоящих из структурных элементов.

4.3. Показатель надежности одного структурного элемента определяется по формуле [I] :

$$R_1 = \frac{1}{1 + \omega\tau} \qquad (4.I)$$

4.4. Показатель надежности УО, состоящий из $N = N_1 \cdot N_2$ элементов (см.рис.I) определяется по формуле:

$$R = \prod_{i=1}^{N} R_{1i} = R_1^N \qquad (4.2)$$

4.5. Показатель надежности цепочки охлаждения длиной N_2 определяют по формуле:

$$R_y = R_1^{N_2} \qquad (4.3)$$

4.6. При резервировании УО последовательно установленными резервными линиями показатель надежности определяется по формуле:

$$R_p = 1-(1-R_y)\prod_{i=1}^{K_p}(1-R_{1i}) = 1-(1-R_y)(1-R_1)^{K_p} \qquad (4.4)$$

4.7. Оптимальным уровнем резервирования будем считать уровень, обеспечивающий минимум приведенных затрат от капитальных вложений на резервирование и ущерба от отказов УО.

4.8. Расчет приведенных затрат с учетом надежности УО следует производить по формуле:

$$П = П_0 + П(K_p) + П(R) \qquad (4.5)$$

4.8.1. Независящее от показателя надежности и уровня резерва слагаемое определяется по формуле:

$$П_0 = E_н N_1 N_2 C_0 + \left[N_1 N_2\left(\frac{G_1 \Delta p}{\rho \eta} + \frac{G_в \Delta p_в}{\rho_в \eta_в}\right) S'_\varepsilon + N_1 N_2\left(\frac{N_в S_в}{\tau_в} + \frac{S_{авв}}{\tau_{авв}}\right)\right] \Delta\tau \qquad (4.6)$$

4.8.2. Приведенные затраты, определяемые только уровнем резервирования, находятся по формуле [I]:

$$П(K_p) = E_н K_p N_1 C_0 + y(K_p)\,\Delta\tau \,, \qquad (4.7)$$

где $y(K_p)$ – удельный ущерб от отказов УО;

$C_0 = S_{\text{ЛЕО}} + N_4 S_3 + m \cdot S_3$ – стоимость структурного элемента УО;

m – количество задвижек в элементе.

4.8.3. Удельный ущерб зависит от уровня резервирования K_p и определяется конкретно для каждого случая в зависимости от системы объектов, в которую входит УО, как составная часть.

Ущерб от отказов, зависящий от уровня резервирования K_p, определяется для системы магистрального нефтепровода по формуле [2]:

$$y(K_p) = (y_0 + \beta_1 B_2 + \beta_2 A_2)(1 - R_p) \qquad (4.8)$$

4.8.4. Эксплуатационные затраты за время $\Delta\tau$, связанные с отказами работающей части УО, определяются по формуле [I]:

$$\Pi(R) = \frac{З_в(1-R)}{R\tau}\,\Delta\tau \qquad (4.9)$$

4.9. Оптимальный уровень резервирования следует определять следующим образом:

4.9.I. Подставить значение R_p, определяемое формулой (4.4), в формулы (4.7 и 4.8) и, формально полагая, что K_p изменяется непрерывно из условия $\frac{d\Pi}{dK_p} = 0$ определить значение K_p^{min}, при котором функция П имеет минимум:

$$K_p^{min} = \frac{\ln\left[-\frac{E_н N_1 C_0}{8760(y_0+\beta_1 B_2+\beta_2 A_2)(1-R_y)\ln(1-R_1)}\right]}{\ln(1-R_1)} \qquad (4.10)$$

4.9.2. Взять два ближайших к K_p^{min} целых значения K_1 и K_2 и вычислить $\Pi(K_1)$ и $\Pi(K_2)$. По меньшему из двух значений приведенных затрат определяется оптимальный уровень резервирования $K_p^{опт}$.

4.10. Задача определения оптимального соотношения между N_1 и N_2 при заданных условиях охлаждения, которые обеспечивают минимум функции приведенных затрат (4.5), решается с помощью программы, описанной в приложении 3.

4.11. Пример определения ущерба от отказов УО и оптимального уровня резервирования в системе магистрального нефтепровода, расположенной на головной насосной станции, приведен в приложении 5.

5. ВЫБОР ТИПА АВО И КОЭФФИЦИЕНТА ОРЕБРЕНИЯ

5.1. Для охлаждения нефтей следует использовать типы АВО с минимальным коэффициентом оребрения, равным 9 [3] .

5.2. В прилагаемой программе (см.Приложение 3) по минимуму функции (4.5) рассчитываются установки охлаждения для всех типов АВО с коэффициентом оребрения, равным 9 и для различных углов установки лопастей вентиляторов. Максимальные размеры УО определяются по расчетной температуре воздуха. По результатам расчета определяется оптимальный угол установки лопастей вентиляторов для каждого типа АВО (см.пример расчета).

5.3. Выбор типа АВО производится с учетом динамики температуры нефти и воздуха следующим образом:

5.3.1. По данным зависимости температуры нефти и воздуха от времени года (п.2.5.1 и 2.4.1) строятся графики (см.рис.П.1 Приложения 4).

5.3.2. Проводится прямая, определяющая требуемую температуру охлаждения t_2 .

5.3.3. По точкам пересечения графиков находится расчетный период работы УО:

$$\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1 \qquad (5.1)$$

5.3.4. Полученный расчетный период разбивается на интервалы длиной I0 ÷ I5 дней, так, что $\Delta\tau = \sum_i \Delta\tau_i$. По графикам (см.рис.II.I) определяются t_{1i} и $t_{в0i}$.

5.3.5. В соответствии с принятой схемой регулирования температуры охлаждения теплоносителя для каждой температуры воздуха и соответствующей ей температуре нефти ($t_{в0i}$, t_{1i}) при неизменном значении N_1 определяется длина N_{2i}, при которой достигается требуемое охлаждение (t_2) и находятся эксплуатационные затраты по формуле:

$$\Theta_i = \left[N_1 N_{2i} \left(\frac{G_1 \Delta P_1}{\rho \eta} + \frac{G_в \Delta P_в}{\rho_в \eta_в} \right) S_э + \frac{З_в (1 - R_i)}{R_i \tau} \right] \Delta\tau_i \qquad (5.2)$$

5.3.6. Определяются суммарные эксплуатационные и приведенные затраты за расчетный период:

$$П = E_н \left(N_1 N_2 + K_р^{опт} N_1 \right) S_{АВО} + \sum_i \Theta_i \Delta\tau_i \qquad (5.3)$$

5.3.7. Подобный расчет повторяется для всех типов рассматриваемых АВО. Находятся приведенные затраты, и по наименьшему из полученных значений приведенных затрат выбирается наилучший тип аппарата для данной местности расположения УО и условий охлаждения.

5.4. Пример расчета приведен в Приложении 4.

Приложение I.

СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ, ПРИНЯТЫХ В МЕТОДИКЕ

N_1 – ширина установки охлаждения, шт.

N_2 – длина установки охлаждения, шт.

t_1 – температура охлаждаемого потока на входе в УО, ^{0}С

t_2 – температура на выходе из УО, ^{0}С

$t_{вх}$ – температура охлаждающего воздуха на входе в АВО, ^{0}С

φ – угол установки лопастей вентиляторов, град

Ψ – коэффициент увеличения поверхности

N_c – число секций в АВО, шт.

$N_т$ – число рядов труб в секции, шт.

S_4 – площадь сечения одного хода секции с четырьмя рядами труб, м2,

D – диаметр теплообменных труб, м

F – площадь поверхности теплообмена, м2

$N_в$ – число вентиляторов в АВО, шт.

$G_в$ – производительность вентиляторов, кг/с

$\eta_в$ – КПД вентиляторов

$\Delta p_в$ – потери напора воздуха в секции н/м2

ξ – коэффициент местных сопротивлений

C_1 – удельная теплоемкость охлаждаемой жидкости дж/кг·^{0}С

C_2 – удельная теплоемкость воздуха, дж/кг·^{0}С

$\rho_в$ – плотность воздуха при температуре t_1 кг/м3

η – КПД насосной станции

ρ_{15}, ρ_{20} – плотность жидкости при 15^{0}С и 20^{0}С, соответственно, кг/м3

β_o – коэффициент объемного расширения, I/^{0}С

δ – толщина футеровочного слоя, м

ν_0, ν_2, ν – кинематическая вязкость охлаждаемой жидкости или газа при температуре t_0, t_2, t, м2/с

u – коэффициент крутизны вискограммы, I/°C

t – температура охлаждаемого потока в интервале охлаждения от t_1 до t_2, °C

$S_{АВО}$ – стоимость одного АВО без вентиляторов, руб.

$S_э$ – стоимость электроэнергии, руб./квт.час.

$S_в$ – стоимость вентилятора, руб.

$S_з$ – стоимость задвижки, руб.

G_0 – производительность охлаждаемого потока, кг/с

$E_н$ – нормативный коэффициент, I/год для нефтепроводного транспорта

ρ, λ, c_1, ν – плотность, коэффициент теплопроводности, удельная теплоемкость, кинематическая вязкость в зависимости от температуры, кг/м3, Вт/м°C, дж/кг°C, м2/с

$P_0, P_в$ – мощность, затрачиваемая на прокачку теплоносителя и воздуха через УО, соответственно, квт

$T_{АВО}, T_в$ – срок службы АВО и вентилятора, соответственно, час.

L – длина теплообменных труб, м.

T – среднее время восстановления структурного элемента, час.

R – показатель надежности УО.

$R_р$ – показатель надежности зарезервированной УО.

N – число структурных элементов УО.

$R_ц$ – показатель надежности цепочки охлаждения, состоящей из N_2 последовательно соединенных АВО.

$C_э$ – стоимость структурного элемента, руб.

R_1 – показатель надежности одного элемента.

$C_р$ – капитальные затраты на резерв УО, руб.

$K_р$ – количество резервных линий.

$\lambda_ф$ – коэффициент теплопроводности футеровочного материала, Вт/м°C

$У(К_Р)$ – ущерб, зависящий от уровня резервирования, руб.

$У_0$ – удельный ущерб от простоя нефтепровода руб/час

$З_в$ – средние затраты на ликвидацию одного отказа, руб.

$А_2, В_2$ – удельный ущерб от простоя в системе переработки и добычи нефти, соответственно, руб/час

β_1, β_2 – коэффициенты, учитывающие снижение времени простоя в системе добычи и переработки.

$\Delta\tau$ – период работы установки, соответствующий расчетной температуре, час.

ω – параметр потока отказов структурных элементов, 1/час.

$\Gamma_з$ – коэффициент загрязнения внутренней поверхности труб, м2°С/Вт

$\alpha_н$ – коэффициент теплоотдачи к воздуху, Вт/м2°С

$П(К_Р)$ – приведенные затраты, зависящие от величины резерва, руб.

ΔP – потери давления в одном АВО, н/м2.

G_1 – расход теплоносителя через один АВО, кг/с.

$П_0$ – приведенные затраты от капитальных вложений в УО и затрат на электроэнергию, руб.

$П(R)$ – эксплуатационные затраты на восстановление УО, руб.

$t_{нп}$ – температура начала массовой кристаллизации парафина, °С.

$Re = \frac{w\Omega}{\nu}$ – критерий Рейнольдса.

$Pr = \frac{\nu \rho c_p}{\lambda}$ – критерий Прандтля.

$Gr = \frac{g \beta^2 \Delta t}{\nu^2}$ критерий Грасгофа.

Индексы f, w означают, что величины, определяющие критерии, берутся при температуре теплоносителя и стенки соответственно.

Приложение 2

Таблица I

Коэффициенты объемного расширения в зависимости от плотности при 20°С

Плотность кг/м3	I/°C	Плотность кг/м3	I/°C
700-720	0.00I255	860-880	0.000782
720-740	0.00II83	880-900	0.000734
740-760	0.00III8	900-920	0.000688
760-780	0.00I054	920-940	0.000645
780-800	0.000995	940-960	0.000604
800-820	0.000937	960-980	0.000564
820-840	0.000882	980-I000	0.000526
840-860	0.00083I		

Таблица 2

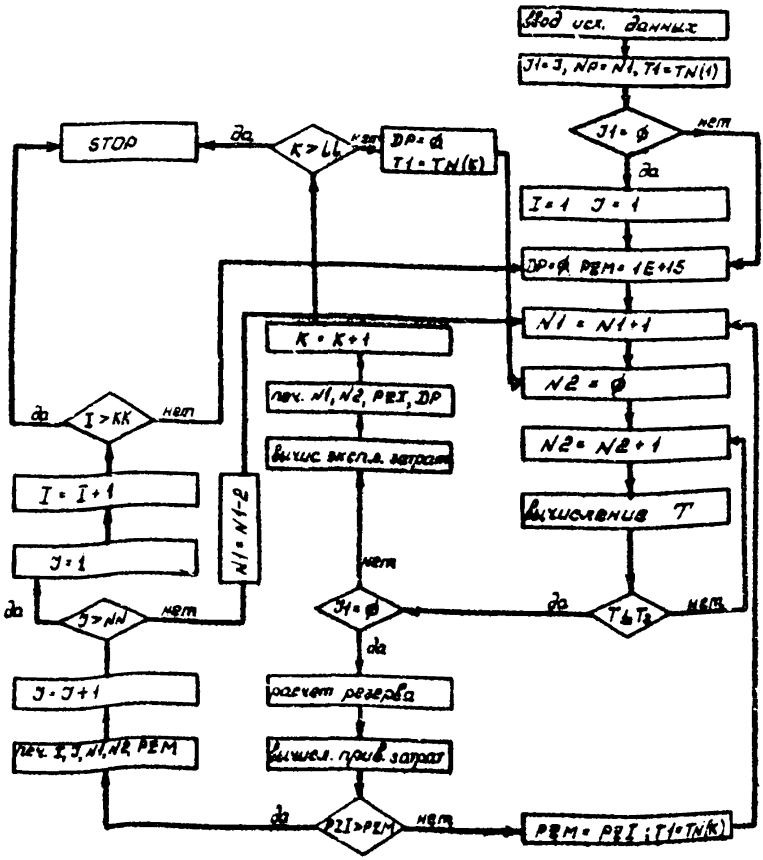
Термические сопротивления загрязнений (м2 с °С/Дж) со стороны нефти [3] x

Подготовка нефти	Температура, °С	Скорость нефти, м/с W< 0,6	0,6≤W<I,2	W≥ I,2
Обезвоженная (обессоленая)	-I7 < t < 93	0,0007	0,00046	0,00046
Обводненная (не обессоленая)	-I7 < t < 93	0,0007	0,00046	0,00046

x – при $t < t_{нп}$ сопротивление от загрязнения парафином во всех случаях принимается равным 0,0007.

ПРОГРАММА РАСЧЕТА

Блок-схема расчета оптимальной компоновки УО и и определение оптимального угла установки лопастей вентилятора



```
// JOB ABO
// OPTION LINK,NOLIST
// EXEC FFORTRAN
      DIMENSION DPW(9,9),SABO(9),SB(9),TAUB(9),TN(20),
     1TAUA(9),ZB(9),TAJ(9),OM(9),NC(9),L(9),NT(9),
     2A1(3),A2(3),A3(3),A4(3),A5(3),A6(3)
       REAL KPDW,KPDB(9,9)
      COMMON/AA/A,B,F(9),GB(9,9),TW1(20),GN(9,9),AU(9),NB(9)
      COMMON/BB/W,RE,PN,G1,K,I,J
      COMMON/CC/T0,R20,B0,WK0,U,EPS
      COMMON/DD/S1,T,D,G2,T1,T2,RS,RZ,R15
      COMMON/EE/A1,A2,A3,A4,A5,A6
      READ 63,II
      READ 94,A1
      READ 95,A2,A3,A5
      READ 96,A4,A6
      READ 2,T2,EPS
      PRINT 2,T2,EPS
      READ 58,T0,R20,B0,WK0,U
      PRINT 58,T0,R20,B0,WK0,U
      READ 64,G2,N1
      PRINT 64,G0,N1
      READ 63,LL
      PRINT 63,LL
      READ 59,(TN(I),I=1,LL)
      PRINT 59,(TN(I),I=1,LL)
      READ 59,(TW1(I),I=1,LL)
      PRINT 59,(TW1(I),I=1,LL)
      READ 100,NN,KK
      PRINT 100,NN,KK
      READ 55,(NC(I),NT(I),NB(I),L(I),F(I),AU(I),I=1,KK)
      PRINT 55,(NC(I),NT(I),NB(I),L(I),F(I),AU(I),I=1,KK)
      READ 57,((GB(I,J),DPW(I,J),KPDB(I,J),J=1,NN),I=1,KK)
      PRINT 57,((GB(I,J),DPW(I,J),KPDB(I,J),J=1,NN),I=1,KK)
      READ 60,(SABO(I),SB(I),I=1,KK)
      PRINT 60,(SABO(I),SB(I),I=1,KK)
      READ 61,(TAUB(I),TAUA(I),I=1,KK),DT
      PRINT 61,(TAUB(I),TAUA(I),I=1,KK),DT
      READ 62,(ZB(I),TAJ(I),OM(I),I=1,KK)
      PRINT 62,(ZB(I),TAJ(I),OM(I),I=1,KK)
      READ 65,SZ,SE
      PRINT 65,SZ,SE
      READ 67,Y0,B2,A21,BETA1,BETA2
      PRINT 67,Y0,B2,A21,BETA1,BETA2
      READ 56,S4,D,G2,RZ,CM,PW,KPDH,EN
      PRINT 56,S4,D,G2,RZ,CM,PW,KPDH,EN
      READ 100,I,J
      PRINT 100,I,J
   18 FORMAT(4I5,3F10.1)
  100 FORMAT(2I4)
   55 FORMAT(4I3,2F8.2)
   56 FORMAT(4E10.4,4F5.2)
   57 FORMAT(2F6.1,F6.2)
   58 FORMAT(2F6.1,3E10.3)
   59 FORMAT(10F5.1)
   60 FORMAT(9F7.1)
   61 FORMAT(14F5.1)
   96 FORMAT(3F8.6)
   95 FORMAT(3F6.4)
   94 FORMAT(3F7.3)
```

```
67   FORMAT(3F6.1,2F6.4)
2    FORMAT(F5.1,F6.3)
62   FORMAT(2F6.1,E10.4)
63   FORMAT(I5)
64   FORMAT(F7.1,I5)
65   FORMAT(F7.1,E10.3)
8    FORMAT(4I5,2F10.1,I5)
93   FORMAT(2I5,2F10.1)
     R15=R20/(1.+5.*80)
     RS=SQRT(R15)
     J1=J
     Y00=Y0+BETA1*B2+BETA2*A21
     NP=N1
     K=1
     IF(J1.NE.0)GO TO 73
     I=1
     J=1
73   N1=NP
     PZM=.1E+15
     S1=54.*C(I)*NT(I)/4.
     C0=SARC(I)+SB(I)*NB(I)+SZ*3.
48   N1=N1+1
76   DP=0.
     G1=G0/N1
     T1=TN(K)
     N2=0
37   N2=N2+1
     AK=0.
12   AK=AK+1.
     Y1=TW1(K)+AK/2.
     XY=X(Y1)
     IF(XY.EQ.0.) GO TO 12
     P1=XY-B/A*(Y1-TW1(K))
      AK=0.
 11  AK=AK+1.
      Y2=Y1-AK/2.
     XY=X(Y2)
     IF(XY.EQ.0.)GO TO 11
     P2=XY-B/A*(Y2-TW1(K))
4    Y=(Y1+Y2)/2.
     CC=X(Y)
     P=CC-B/A*(Y-TW1(K))
     PO=ABS(P)
     IF(PO.LE.EPS)GO TO 6
     IF(P1.GT.0..AND.P.GT.0..OR.P1.LT.0.AND.P.LT.0.) GO TO 7
     P2=P
     Y2=Y
     GO TO 4
7    P1=P
     Y1=Y
     GO TO 4
6    TW=Y
     IF(RE-3000.)81,81,82
81   EP=64./RE
     GO TO 83
82   EP=0.3164/RE**0.25
83   DP=DP+W**2*RN/2.*(EP*L(I)/D+2.*QM)
     IF(T-T2)34,34,26
26   T1=T
     GO TO 37
```

```
34   PH=DP*G0/(PN*KPDH)
     N12=N1*N2
     PB=GB(I,J)*NB(I)*N12/(KPDB(I,J)*PW)+DPW(I,J)
     RC=1./(1.+DH(I)*TAJ(I))
     RU=RC**N12
     IF(J1.F8.0)GO TO 75
     PZR=ZB(I)*(1.-RU)/(RU*TAJ(I))
     PZI=(PZR+(PH+PB)*SE/1000.)*DT
     PRINT 18,I,J,N1,N2,PZI,DP,T
     K=K+1
     IF(K-LL)76,76,53
75   RL=RC**N2
     RA=ALOG(1.-RC)
     XM=-EN*N1*C0/(8760.*Y0B)
     XM=+LOG(XM/((1.-RL)*RA))/RA
     K1=XM
     K2=K1+1
     RU1=(1.-RU)*(1.-RL)**K1
     RU2=(1.-RU)*(1.-RL)**K2
     EC=EN*N1*C0/8760.
     PZ1=(K1*EC*Y0B*RJ1)
     PZ2=(K2*EC*Y0B*RJ2)
     IF(PZ1.GT.PZ2)GO TO 42
     KP=K1
     PZK=PZ1
     GO TO 43
42   KP=K2
     PZK=PZ2
43   PZR=ZB(I)*(1.-RU)/(RU*TAJ(I))
     PZ0=EN*N12*C0/8760.
     PZ0=PZ0+(PH+PB)*SE/1000.
     PZI=(PZ0+PZR+PZK)*DT
     IF(PZI.GE.PZM)GO TO 49
     N1OPT=N1
     N2OPT=N2
     DPM=DP
     KPM=KP
     PZM=PZI
     GO TO 48
49   PRINT 8,I,J,N1OPT,N2OPT,PZM,DPM,KPM
     J=J+1
     PZM=.1E+15
     IF(J.GT.NN)GO TO 91
     N1=N1-2
     GO TO 48
51   J=1
     I=I+1
     IF(I-KK)73,73,53
53    STOP
     END
     FUNCTION X(S)
     DIMENSION A1(3),A2(3),A3(3),A4(3),A5(3),A6(3)
     COMMON/AA/A,B,F(9),GB(9,9),TW1(20),AN(9,9),AU(9),NB(9)
     COMMON/BB/W,RE,PN,C1,K,I,J
     COMMON/CC/T0,R0,B0,WK0,J,EPS
     COMMON/DD/S1,T,D,C2,T1,T2,RS,RZ,R15
     COMMON/EE/A1,A2,A3,A4,A5,A6
     X=0.
     T=(T1+T2)/2.
     C1=.1324E+06*(.403+.00001*T)/RS
```

```
      A=G1*C1/(GB(I,J)*NB(I)*B2)
      T=T1-(S-TW1(K))/A
      T=(T1+T)/2.
      C1=.1324E+06*(.483+.00001*T)/RS
      A=G1*C1/(GB(I,J)*NB(I)*B2)
      T=T1-(S-TW1(K))/A
      H1=T1-S
      H2=T-TW1(K)
      H3=S-TW1(K)
      H4=T1-T
      R=H3/H4
      IF(R-1.)13,14,15
   13 P=H4/H1
   16 E=SQRT(R**2+1.)
      R1=P*(R+E+1.)
      IF(R1.GE.2.)GO TO 91
      ET=E/(R-1.)*ALOG((1.-P)/(1.-P*R))/ALOG((2.-P*(R+1.-E))/(2.-P*
     1(R+1.+E)))
      GO TO 17
   14 P=H4/H1
      Q=SQRT(2.)
      ET=Q*P/((1.-P)*ALOG((2.-P*(2.-Q))/(2.-P*(2.+Q))))
      GO TO 17
   15 R=H4/(S-TW1(K))
      P=H3/(T1-TW1(K))
      GO TO 16
   17 TR=(H1-H2)/ALOG(H1/H2)*ET
      TCP=(T1+T)/2.
      C1=.1324E+06*(.483+.00001*TCP)/RS
      WK=WK0*EXP(-U*(TCP-T0))
      BL=117.5*(1.-.00054*TCP)/R15
      PN=P20/(1.+80*(TCP-20.))
      A=G1*C1/(GB(I,J)*NB(I)*B2)
      B=G1*C1/F(I)
      PRF=WK*C1*PN/BL
      N=G1/(S1*PN)
      RE=N*D/WK
      II=0
      V=0.021*BL/D*RE**0.8*PRF**0.43
      V1=0.17*BL/D*RE**0.33*PRF**0.43
      Y1=(TW1(K)+S)/2.1
      Y2=TCP-0.1
      Y=Y1
      GO TO 75
   79 P1=P
      Y=Y2
      GO TO 75
   80 P2=P
   75 II=II+1
      IF(II.EQ.3)Y=(Y1+Y2)/2
   35 C1=.1324E+06*(.483+.00001*Y)/RS
      AN(I,J)=(A1(I1)-A2(I1)*Y)*((A3(I1)*A4(I1)+Y)*GB(I,J)*
     1NB(I)/1.28)**(A5(I1)+A6(I1)*Y)
      WK=WK0*EXP(-U*(Y-T0))
      BL=117.5*(1.-.00054*Y)/R15
      PN=P20/(1.+80*(Y-20.))
      PRC=WK*C1*PN/BL
      AW=V*(PRF/PRC)**0.25
      IF(RE.GE.2250.)GO TO 60
      GR=B0*9.81*D**3*(TCP-Y)/WK**2
```

```
      AW=V1*CR**0.1*(PRF/PRC)**0.25
      GO TO 61
   60 IF(RE.GT.10000.) GO TO 61
      RE1=RE/1000.
      FI=.9443+.01081*RE1-3.46/(RE1*RE1)
   66 AW=AW*FI
   61 P=Y-TCP+AU(I)*TR/(AU(I)  *AN(I,J)+RZ+AU(I)*AW)
      IF(II-2)79,80,78
   78 PO=ABS(P)
      IF(PO.LE.EPS) GO TO 73
      IF(P1.GT.0..AND.P.GT.0..OR.P1.LT.0..AND.P.LT.0.) GO TO 72
      P2=P
      Y2=Y
      Y=(Y1+Y2)/2.
         TO 35
   72 P1=P
      Y1=Y
      Y=(Y1+Y2)/2.
      GO TO 35
   73 X=TR/(AU(I)/AW+1./AN(I,J)+RZ*AU(I))
   91 RETURN
      END
/*
// EXEC LNKEDT
// EXEC
    2
 12.439 10.830 11.255
 .0255 .0215 .0201
 .1753 .0577 .0577
 .630  .631  .630
 .000281 .000227 .000227
 .000324 .000352 .000391
 40.    .01
  28.  850.    .831E-03  .100E-04  .220E-01
 2980.     4
    9
 57.  42.5 47.5 52.5 57.  56.  52.5 47.5 42.5
 27.  18.7 22.7 19.  12.4  4.2 -4.1-13.7-15.8
   5   3
  3  8  2  8 3500.      11.67
  6  9  1  6 5300.      12.05
  6  9  2  8 7000.      11.67
  78.5 470.     .64
  74.5 420.     .63
  69.8 370.     .66
  67.0 340.     .66
  52.5 220.     .55
 225.7 580.     .69
 209.6 350.     .70
 193.5 300.     .74
 185.4 280.     .73
 147.8 190.     .68
 117.0 250.     .68
 105.1 220.     .65
  95.5 180.     .60
  86.9 150.     .60
  64.5 100.     .40
93000.  4002. 32000.  5000. 36000.  4004.
 24. 120.  18. 120.  24. 120.   1.
  80.   12.  .6500E-03
```

Список идентификатороз программы

Идентификатор	Обозначение в тексте	Примечание
DPW(I,J)	$\Delta p_в$	потери напора воздуха в I-ом АВО при J-ом угле установки лопастей вентилятора
SABO(I)	$S_{АВО}$	стоимость АВО I-го типа
SB(I)	$S_в$	стоимость вентилятора в АВО I-го типа
TAUB(I)	$\tau_в$	срок службы I-го вентилятора
TAUA(I)	$\tau_{АВО}$	срок службы I-го типа АВО
ZB(I)	$З_в$	затраты на восстановление I-го типа АВО
TAU(I)	τ	среднее время восстановления структурного элемента
OM(I)	ω	параметр потока отказов I-го типа АВО
NC(I)	$N_с$	число секций в АВО I-го типа
L(I)	L	длина теплообменных труб
NT(I)	$N_т$	число рядов труб в секциях АВО
KPDH	η	КПД насосной станции
KPDB(I,J)	$\eta_в$	КПД вентилятора I-го типа для J-го угла установки лопастей
A	-	арифметическое выражение в подпрограмме
B	-	арифметическое выражение в подпрограмме
F(I)	F	площадь поверхности теплообмена для I типа АВО
GB(I,J)	$G_в$	производительность вентилятора в I-м АВО при J-ом угле лопастей вентилятора
TW1(I)	$t_{вх}$	масоив температуры воздуха
AN(I,J)	$\alpha_н$	коэффициент теплоотдачи к воздуху в I-ом АВ при J-ом угле лопастей вентилятора
AU(I)	Ψ	коэффициент увеличения поверхности теплообмена

Идентификатор	Обозначение в тексте	Примечание
NB(I)	$N_в$	число вентиляторов в I-ом типе АВО
W	w	скорость теплоносителя в АВО
RE	Re	число Рейнольдса
PN	$\rho(t)$	плотность теплоносителя
G1	G_1	расход теплоносителя через один АВО
K,I,J	-	идентификатор счетчиков массивов температуры воздуха, типа АВО, угла лопастей вентиляторов
TØ	t_0	температура при которой известно ν_0
R2Ø	ρ_{20}	плотность теплоносителя при 20°С
BØ	β_0	коэффициент объемного расширения
WKØ	ν_0	кинематическая вязкость при T_0
U	U	коэффициент крутизны вискограммы
EPS	ε	задаваемая точность решения уравнения
S1	-	площадь сечения одного хода АВО
T	t	температура из интервала охлаждения
D	D	диаметр теплообменных труб
C2	C_1	теплоемкость воздуха
T1,T2	t_1, t_2	начальная и конечная температура теплоносителя
RS	-	арифметическое выражение
R15	ρ_{15}	плотность теплоносителя при 15°С
RZ	r_3	коэффициент загрязнения внутренней поверхности труб
GØ	G_0	производительность охлаждаемого потока
N1	N_1	ширина УО
LL	-	размер массива температуры воздуха
NN, KK	-	число вводимых для расчета углов лопастей вентилятора и типов АВО

Идентификатор	Обозначение в тексте	Примечание
DT	$\Delta\tau$	интервал времени работы УО, соответствующий расчётной температуре
SZ	$S_з$	стоимость задвижки
SE	$S_э$	стоимость электроэнергии
YØ	$У_о$	удельный ущерб от простоя нефтепровода
B2, A2	B_2, A_2	удельный ущерб в системе добычи и нефтепереработки
BETA1, BETA2	β_1, β_2	коэффициенты, учитывающие снижение времени простоя в системе добычи и переработки
S4	S_4	площадь сечения одного хода секции с числом рядов, равным 4
CM	ξ	коэффициент местных сопротивлений
PW	$\rho_в$	плотность воздуха
EN	$E_н$	нормативный коэффициент в трубопроводном транспорте
J1, NP, TN		идентификатор для хранения начального значения $У, N_i, T_i$
PZM		идентификатор минимальных приведенных затрат
CØ	C_o	стоимость структурного элемента УО
DP	Δp	идентификатор потери давления на УО
N2	N_2	длина УО
AK		идентификатор уменьшения и увеличения интервала изменения температуры воздуха на выходе из АВО
XY, CC	$K\theta$	идентификатор присвоения значения произведения коэффициента теплопередачи на температурный напор
X(S)		имя подпрограммы вычисления $K\theta$
Y1, P1, Y2, P2, Y, P		идентификаторы арифметических выражений
TW	$t_в$	Температура воздуха на выходе из АВО
EP		коэффициент гидравлического сопротивления
N12	N	число АВО в УО

Идентификатор	Обозначение в тексте	Примечание
RC	R_c	показатель надежности одного структурного элемента
RU	R	показатель надежности УО
RL	$R_ц$	показатель надежности цепочки охлаждения
RA, XM		арифметические выражения
YØB		общий удельный ущерб от отказа УО
RU1, RU2	$R_{р1}, R_{р2}$	показатель надежности УО, зарезервированный K_1 и K_2 линиями
KP	$K_р$	уровень резервирования
PZK	$П(K_р)$	приведенные затраты от ущерба от простоя и капвложений на резерв
PZR	$П(R)$	затраты навосстановление УО
PZØ	$П_о$	приведенные затраты от капвложений на УО и стоимости потребл. электроэнергии
PZI	$П$	суммарные приведенные затраты
N1OPT, N2OPT	$N_1^{опт}$, $N_2^{опт}$	оптимальные значения N_1, N_2
DPM, KPM	ΔP, $K_р^{опт}$	величина потерь давления и оптимальный уровень резервирования при оптимальных N_1, N_2
H1, H2, H3, H4		идентификаторы арифметических выражений
TR	θ	температурный напор
ET TCP	$\varepsilon_{\Delta t}$ $T_{ср}$	температурная поправка к θ средняя температура теплоносителя в АВО
WK	$\nu(t)$	кинематическая вязкость
BL	$\lambda(t)$	коэффициент теплопроводности
PRF	Pr_f	критерий Прандтля при температуре потока
V, V1		идентификаторы арифметических выражений
PRC	Pr_w	критерий Прандтля, вычисленный при температуре стенки
AW	$\alpha_{вн}$	коэффициент теплопередачи от теплоносителя к стенке
FI	φ_{Re}	поправочный к $\alpha_{вн}$ коэффициент
GR	Gr	критерий Грасгофа

Порядок расчета

П.I. Программа позволяет расчитывать компоновку УО из любых типов АВО.

П.I.I. На перфокарте (п-к) № I задаются значения t_2 и ε - точность решения уравнений.

П.I.2. На перфокарте № 2 характеристики охлаждаемой жидкости

$$t_0,\ \rho_{20},\ \beta_0,\ \nu_0,\ U$$

П.I.3. На перфокарте № 3 - производительность потока G_0 и начальное значение ширины УО - N_1, которое задается для ускорения счета. Начальное значение N_1 значительно зависит от производительности G_0. Для разных типов АВО оно различно и обычно выявляется после первого расчета. Если есть затруднения в его выборе, то для первого расчета следует задать $N_1 = 0$.

П.I.4. На перфокарте № 4 - размер массива среднемесячных температур воздуха (и, соответственно, температур нефти).

П.I.5. На перфокарте № 5 - массив температур нефти.

П.I.6. На перфокарте № 6 - масси температур нефти.

Если массивы не вмещаются на одной перфокарте, то они вводятся на двух и более картах в соответствии с форматом. При этом дальнейшая нумерация карт меняется.

П.I.7. На перфокарте № 7 - число углов установки лопастей вентиляторов и число расчитываемых АВО.

П.I.8. На перфокартах № 8 - 33 - конструктивные данные (2.3 - 2.I.9), аэродинамические характеристики вентиляторов (2.2 - 2.2.3), прочие исходные данные (2.6 - 2.6.I4) (см.формат, по которому вводятся эти данные в прилагаемой программе и список идентификаторов).

П.2. Для определения оптимального угла установки лопастей вентилятора и оптимального резерва на перфокарте № 34 ввести значения I и J равными 0 и провести расчет по программе.

П.3. Из полученной в результате расчета таблицы (см.пример в приложении 4) определяется оптимальный уровень резерва $K_p^{опт}$ и оптимальный угол установки лопастей вентилятора $\gamma_{опт}$ для каждого типа АВО.

П.4. Набить на перфокарте значение $I = I$ и $\gamma_{опт}$, полученное для первого типа АВО. Заменить перфокарту № 34 в данных этой картой и провести расчет.

Аналогично провести расчет для второго и третьего типа АВО.

П.5. По полученным таблицам определить приведенные затраты для каждого типа АВО за расчетный период охлаждения. По минимуму приведенных затрат определить оптимальный тип АВО.

Пример расчета приведен в Приложении 4.

Таблица 3

Постоянные коэффициенты в формуле (3.II)

№ п/п	Тип теплообменных труб	a_1	a_2	a_3		a_4		a_5	a_6
				АВГ	АВ3	АВГ	АВ3		
I.	монометаллические	I2,409	0,0255					0,630	0,000324
	биметаллические:								
	ст.XI9NIOT + АДI			0,I75	0,0577	0,00028I	0,000227		
2.	ст.XI8NI3M2T+АДI	I0,830	0,02I5					0,63I	0,000352
	ст. I0 + АДI	II,255	0,020I					0,630	0,000395
3.	ст.X5M + АДI								

Приложение 4

ПРИМЕР РАСЧЕТА

В районе города Куйбышева требуется охладить до температуры t_2 = 40°С поток нефти производительностью G_0 = 90 млн.т в год. Динамика изменения температуры нефти и воздуха в течении года приведена на рис. П.I. Характеристика охлаждаемой нефти следующая: ν_{20} = I0 сст; ν_{40} = 7,6 сст; ρ_{20} = 850 кг/м^3; $t_{нз}$ = 38°С.

Для поставленной задачи охлаждения выбрать тип АВО соответствующий минимуму приведенных затрат и рассчитать динамику УО в течении расчетного периода.

Данные необходимые для расчета.

I. По таблице I Приложения 2 определяется коэффициент объемного расширения β_0 = 0,000831 I/°С.

2. По формуле (2.4) определяем коэффициент крутизны вискограммы: u = 0,0228 I/°С.

3. Определяем производительность:

$$G_0 = \frac{9 \cdot 10^{10}}{350 \cdot 24 \cdot 3600} = 2980 \ \frac{кг}{с}$$

4. За начальное значение берем N_1 = 2.

5. На графике рисунка П.I. проводится прямая $t = t_2$ и определяется расчетный период работы УО:

$\Delta\tau$ = 8·30·24 = 5760 (час)

6. По данным СНиП П-А. 6-72 строится график зависимости температуры воздуха по месяцам расчетного периода (рис. П.I)

7. По данным СНиП П-А.6-72 строится график (рис. П.2).

8. По рис.П.2 определяется расчетная температура воздуха $t_р$= 27°С.

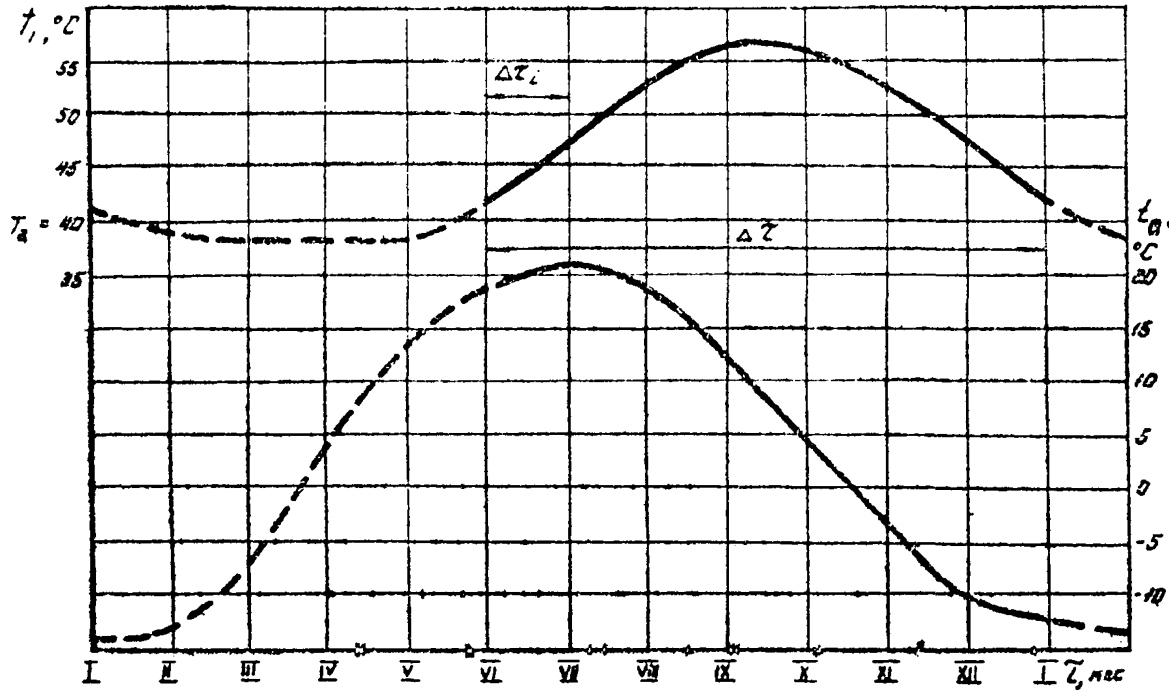


Рис. II.I. Зависимость температуры нефти (верхний график) и воздуха по месяцам расчетного периода.

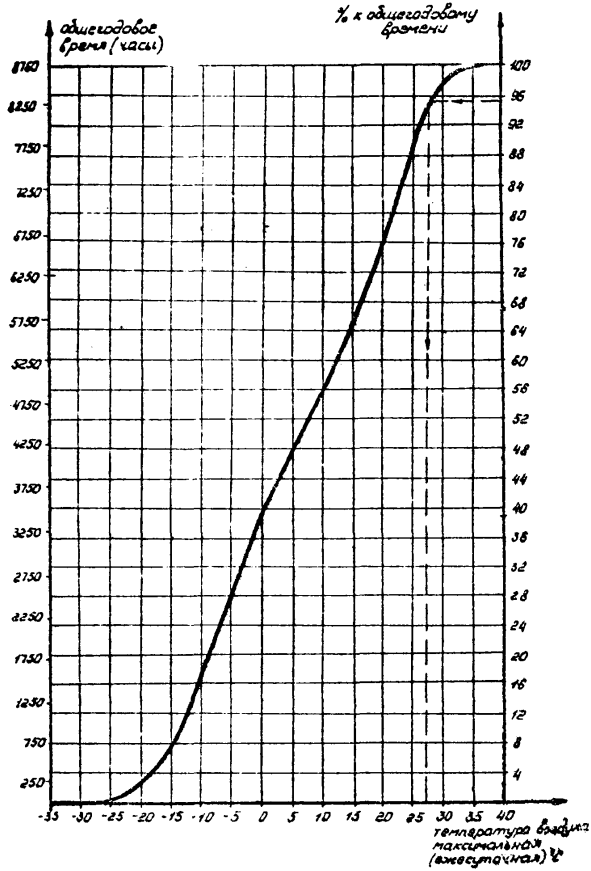


Рис.П.2. Определение расчетной температуры.

9. Размеры АО определяются по расчетной температуре воздуха и максимальной температуре нефти $t_1 = 57^{\circ}C$.

10. По рис.П.1 определяем среднюю температуру нефти и воздуха за период $\Delta\tau_i = 30$ сут.

Месяц		V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I
T_{1i}	$^{\circ}C$	42,5	47,5	52,5	57,0	56,0	52,5	47,5	42,5	
$t_{вi}$	$^{\circ}C$	I8,7	20,7	I9,0	I2,4	4,2	- 4,I	-I0,7	- I3,8	

11. Размер массива температуры воздуха и температуры нефти получается равным 9. (8 месяцев + 1 расчетная температура. Расчетная температура ставится на первое место в массиве и заносится на бланк "Фортран" (табл.П.1). Величины, указанные в п.1-3, также вписываются в бланк (табл.П.1) по формату, указанному в программе.

12. Тип АВО выбирается из серийно выпускаемых аппаратов с коэффициентом оребрения труб, равным 9:

1. АВГ-3500, 2.АВЗ-5300, 3. АВЗ-Д-7000.

13. Аэродинамические данные по этим типам АВО приведены в таблице П.2. Число расчетных положений лопастей (J) вентиляторов принято 5.

14. Конструктивные и прочие данные приведены в таблице П.3. и приняты: $y_0 = 7560$ руб/час; $B_2 = 100$ руб/час; $A_2 = 100$ руб/час; $\beta_1 = \beta_2 = 0$; $\eta = 0,75$; $\xi = 1,5$; $\Gamma_2 = 0,00046$ м2с/Дж $E_н = 0,15$; $\rho_в = 1,29$ кг/м3; $C_2 = 1005$ Дж/кг$^{\circ}$С; $D = 0,021$ м; $S_4 = 0,03255$ м2; $S_3 = 0,0068$ руб/квт.час; $S_з = 1000$ руб.

I5. По формату I00 вводим NN = 5 и KK = 3.

I6. Аэродинамические, конструктивные и прочие данные из таблиц вводятся по соответствующим форматам (см.табл.П.I).

I7. На перфокарте № 34 (последняя карта в данных) вводятся значения I и J равными 0, и производится расчет, в результате которого получаем таблицу П.4.

I8. По этой таблице определяются максимальные размеры УО для каждого типа АВО, оптимальный резерв и оптимальные углы установки лопастей вентиляторов:

№	Тип АВО	$N_1^{опт}$	$N_2^{опт}$	Резерв	Угол установки лопастей γ	γ
I.	АВГ-3500	9	8	2	4	I5°
2.	АВЗ-5300	6	9	2	3	I7°
3.	АВЗ-Д-7000	5	8	2	I	23°

I9. Для выбора оптимального типа АВО производим расчет динамики УО в течение периода $\Delta\tau$. Для этого подготавливается шесть перфокарт с данными:

Тип АВО	Карта № 34		Карта № 3	
АВГ - 3500	I	4	2980.	8
АВЗ - 5300	2	3	2980.	5
АВЗ-Д-7000	3	I	2980.	4

Первая цифра на перфокарте № 34 означает тип АВО, вторая - оптимальный угол установки лопастей вентилятора.

Первая цифра на перфокарте № 3 означает производительность охлаждаемого потока, вторая - ширину УО - $N_1^{опт}$. Ширину УО следует

Бланк "Фортран"

Таблица П.1

```
 40.    .01
  28.   850.    .831E-03  .100E-04  .228E-01
2980.      4
    9
 57.  42.5 47.5 52.5 57.  56.  52.5 47.5 42.5
 27.  18.7 20.7 19.  12.4  4.2 -4.1-10.7-13.8
   5    3
  3  8  2  8 3500.      11.67 .
  6  8  1  6 5300.      12.05
  6  8  2  8 7000.      11.67
  78.8  60.3 470.     .64
  74.5  58.1 420.     .63
  69.8  55.7 370.     .66
  67.0  54.6 340.     .66
  52.3  46.4 220.     .55
 225.7  59.2 380.     .68
 209.6  55.7 350.     .70
 193.5  53.4 300.     .74
 185.4  51.5 280.     .75
 147.8  43.5 190.     .68
 117.   50.  250.     .68
 105.1  47.  220.     .65
  95.5  43.5 180.     .60
  86.5  41.2 150.     .60
  64.5  33.7 100.     .40
2000.  4000. 3200.  5000. 3450.  4000.
 24. 120.  18. 120.  24. 120.   1.
  80.   10.  .6500E-03
 100.    6.  .8400E-03
 150.   12.  .9500E-03
 1000.   .680E-02
7360.  100.  100.  .
 .3255E-01 .2100E-01 .1005E-04 .4000E-03 1.50 1.29 0.75 0.15
   3   1
/8
```

Аэродинамические характеристики вентилятора и коэффициент теплоотдачи к воздуху

Таблица II.2

ТИП	параметры \ φ, град.	J = I 23°	J = 2 20°	J = 3 I7°	J = 4 I5°	J = 5 I0°
АБГ-3500	$G_в$, кг/с	78,8	74,5	69,8	67,0	52,3
	$\Delta P_в$, н/м2	470	420	370	340	220
	$\eta_в$	0,64	0,63	0,66	0,66	0,55
	$\alpha_н$, Вт/м2°С	60,3	58,I	55,7	54,6	46,4
АВЗ-5300	$G_в$, кг/с	225,7	209,6	I93,5	I85,4	I47,8
	$\Delta P_в$, н/м2	38I	350	300	28I,3	I87,5
	$\eta_в$	0,68	0,70	0,74	0,73	0,68
	$\alpha_н$, Вт/м2°С	59,2	55,7	53,4	5I,0	43,5
АВЗ-Д-7000	$G_в$, кг/с	II7,0	I05,I	95,5	85,99	64,5
	$\Delta P_в$, н/м2	250	2I6	I83	I50	I00
	$\eta_в$	0,68	0,65	0,6	0,6	0,4
	$\alpha_н$, Вт/м2°С	50,0	47,0	43,0	4I,2	33,7

Таблица II.3.

Тип АВО	N_c, шт.	$N_т$, шт.	$N_в$, шт.	L, м	ψ	F, м2	$S_{АВО}$, руб.	$S_б$, руб.	$\tau_{АВО}$, год	$\tau_в$, год	ω, 1/час	τ, час	$з_в$, руб
АКГ-3500	3	8	2	8	II,67	3500	20000	4000	I0	5	6,5	I0	80
АВЗ-5300	6	8	I	6	I2,05	5300	32000	5000	I0	6	8,4	6	I00
АВЗД-7000	6	8	2	8	II,67	7000	34000	4000	I0	5	9,5	I2	I50

брать на единицу меньше полученной, так как при расчете значения ее увеличится на единицу.

20. Проводится расчет три раза: каждый раз в данных заменяются перфокарты № 3 и № 34. В результате расчета получаются таблицы П.5, П.6, П.7, показывающие динамику длины УО в течение расчетного периода.

Таблица П.4.

Тип АВО	I	J	N_1, шт.	N_2, шт.	П, руб/час	ΔP, н/м2	$K_p^{опт}$, шт.
	I	I	8	8	I0I,2	280605,3	2
	I	2	9	8	I04,7	227529,9	2
АВГ-3500	I	3	9	8	96,7	227268,5	2
	I	4	9	8	93,2	227I2I,4	2
	I	5	II	8	97,4	I5849I,6	2
	2	I	4	II	83,2	307558,0	2
	2	2	5	I0	83,5	I87022,6	2
АВЗ-5300	2	3	6	9	80,I	I2III5,I	2
	2	4	6	I0	86,7	I34836,I	2
	2	5	6	II	85,3	I48II3,8	2
	3	I	6	8	90,6	I85005,3	2
	3	2	7	7	97,9	90I82,6	2
	3	3	8	7	I06,4	7I065,4	2
АВЗ-Д-7000	3	4	8	7	I02,2	70952,9	2
	3	5	9	8	I30,9	58854,2	2

Таблица П.5

Тип АВО	I	У	N_1, шт.	N_2, шт	Э, руб/час	Δp, н/м2	T_2, °С
	I	4	9	8	38,3	227I2I,4	40,0
	I	4	9	2	9,4	58447,7	38,I
	I	4	9	4	I8,9	II5758,6	38,4
АВГ-3500	I	4	9	5	23,7	I43386,3	38,9
	I	4	9	5	23,7	I42477,8	38,9
	I	4	9	4	I8,9	II4436,2	38,4
	I	4	9	3	I4,I	86658,2	37,4
	I	4	9	2	9,4	58459,7	36,7
	I	4	9	I	4,7	29503,9	37,I

Таблица П.6

Тип АВО	I	У	N_1, шт	N_2, шт	Э, руб/час	Δp, н/м2	T_2, °С
	2	3	6	9	3I,4	I2III5,I	39,9
	2	3	6	2	6,9	27640,0	38,6
	2	3	6	4	I3,8	54720,8	39,3
АВЗ-5000	2	3	6	6	20,8	8I663,5	38,3
	2	3	6	6	20,8	8I267,8	38,0
	2	3	6	4	I3,8	54II8,I	40,0
	2	3	6	3	I0,3	40997,2	38,9
	2	3	6	2	6,9	27673,I	37,9
	2	3	6	I	3,4	I3978,7	37,7

Таблица П.7

Тип АВО	I	У	N_1, шт.	N_2, шт.	Э, руб/час	ΔP, н/м2	T_2, °С
	3	I	5	8	3I,4	I88005,3	39,9
	3	I	5	2	7,6	48386,8	38,I
	3	I	5	4	I5,3	95828,6	38,4
-7000	3	I	5	5	I9,2	II8696,7	38,9
	3	I	5	5	I9,2	II7945,8	38,8
	3	I	5	4	I5,3	94735,6	38,3
	3	I	5	3	II,4	7I743,I	37,4
	3	I	5	2	7,6	4840I,I	36,7
	3	I	5	I	3,8	24428,7	37,0

2I. Определяются приведенные затраты за год по формуле (5.3):

для АВГ-3500:

П = (93.2-38.3)8760+(9.4+I8.9+23.7+23.7+I8.9+I4,I+9.4+4.7)720 =

= 539340 руб.

для АВЗ-5300:

П = (80,I-3I,4)8760+(6,9+I3,8+20,8+I3,8+I0,3+6,9+3,4)720 = 496236руб.

для АВЗ-Д-7000:

П = (90,6-3I,4)8760+(7.6+I5,3+I9,2+I9,2+I5,3+II,4+7,6+3,8)720 =

= 590I60 руб.

22. Из сравнения приведенных затрат устанавливается, что наилучшим типом АВО будет аппарат АВЗ-5300.

23. Таким образом, УО должна состоять из 54 рабочих и I2 резервных аппаратов типа АВЗ-5300 с углом установки лопастей вентиляторов $\varphi = I7^{o}$.

Приложение 5.

Расчет оптимального резерва.

5.I.I. Определить оптимальный уровень резервирования УО размером 5х5 на нефтепроводе диаметром 720 мм. Среднее время восстановления АВО τ = I2 час, а параметр потока отказов ω = $I,7 \cdot I0^{-3}$ час$^{-I}$. Стоимость структурного элемента C_0 = 40000 руб., удельный ущерб от простоя нефтепровода [2] y_0 = I800 руб/час. Считать, что при остановке нефтепровода промыслы и предприятия нефтепереработки не простаивают благодаря наличию резервуарных парков, т.е. $\beta_1 = \beta_2 = 0$. Нормативный коэффициент в нефтепроводном транспорте $E_н$ = 0,I5.

5.I.2. По формуле 4.I находим:

$$R_1 = \frac{1}{1 + 1.7 \cdot 10^{-3} \cdot 12} = 0.98$$

5.I.3. По формуле 4.3. определяем показатель надежности цепочки охлаждения

$$R_ц = R_1^{N_2} = 0.98^6 = 0,8858$$

5.I.4. По формуле 4.I0 находим :

$$K_р = \frac{\ln\left[1 - \frac{0.15 \cdot 5 \cdot 40000}{8760 \cdot 1800 \cdot (1-0.8858)\, t_н (1-0.98)}\right]}{t_н (1-0.98)} = I.4$$

5.I.5. Два ближайших целых значения к $K_р^{min}$ будут числа I и 2.

5.I.6. По формуле 4,4 вычисляем $R_{р1}$ и $R_{р2}$

$$R_{р1} = 1-(1-0.8858)(1-0.98)^1 = 0.99771$$

$$R_{р2} = 1-(1-0.8858)(1-0.98)^2 = 0.99995$$

5.I.7. По формуле 4.7 определяем $П(1)$, $П(2)$:

$$П(1) = 0.15 \cdot 1 \cdot 5 \cdot 40000 + 1800\,(1-0.99771)\,720 = 66108$$

$$П(2) = 0.15 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 40000 + 1800\,(1-0.99995)\,720 = 60788$$

5.I.8. Из сравнения $П(1)$ и $П(2)$ следует, что оптимальный уровень резервирования $K_р^{опт}$ = 2.

ЛИТЕРАТУРА

I. РД-39-30-494-80. Методика оптимизации резервирования проектируемого магистрального нефтепровода. Уфа, ВНИИСПТнефть, 1981.

2. РД-39-30-107-78. Методика оценки ущерба от отказов объектов магистрального нефтепровода. Уфа, ВНИИСПТнефть, 1979.

3. Методика теплового и аэродинамического расчета аппаратов воздушного охлаждения. ВНИИнефтемаш, 1971.

4. РД-39-30-577-81. Методика теплового и гидравлического расчета трубопроводов при стационарной перекачке ньютоновских нефтей с учетом тепла трения. Тюмень, Гипротрубопровод, УНИ, 1981.

Содержание

	стр.
I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	3
2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА	6
3. РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ НА ВЫХОДЕ ИЗ АППАРАТА ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ	I0
4. НАДЕЖНОСТЬ УСТАНОВКИ И ЕЕ РЕЗЕРВИРОВАНИЕ	I4
5. ВЫБОР ТИПА АВО И КОЭФФИЦИЕНТА ОРЕБРЕНИЯ	I7
Приложение I. Список обозначений, принятых в методике	I9
Приложение 2. Таблицы	22
Приложение 3. Программа расчета	23
Приложение 4. Пример расчета	35
Приложение 5. Расчет оптимального резерва	47
Литература	48

Настоящая методика разработана в соответствии с тематическими планами ТФ Гипротрубопровода и ТИИ им.Ленинского комсомола на 1982 г., утвержденными Миннефтепромом и является основополагающим документом при проведении расчетов компановок аппаратов воздушного охлаждения для снижения температуры потока нефти.

В методике дано описание принципов расчета оптимальной компановки АВО в установку охлаждения потоков нефти, температура которых значительно повышается в результате выделения тепла трения в трубопроводе. Методика позволяет проводить расчет оптимального резервирования этой установки.

Методика разработана к.т.н. Неволиным А.П., к.т.н. Малыгиным Н.А.

М Е Т О Д И К А

расчета охлаждения нефти в аппаратах воздушного охлаждения

РД - 39 - 30 - 992 - 84

Тюменский филиал Гипротрубопровода
625019, г.Тюмень, ул. Республики, 209

Подписано в печать 20. 01. 84г.
Формат 60х90 1/16 Уч.изд.л. 2,6 Тираж 100 экз.
Заказ 13

инт ТФ Гипротрубопровода

gost.e-ecolog.ru