

УДК 622.451:621.63:622.46

Жалилов А.Ш., магистр
(ГП «Селидовуголь»),**Бунько Т.В.**, д-р техн. наук, ст. научн. сотр.,**Кокоулин И.Е.**, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.
(ИГТМ НАН Украины),**Пирогов Э.Я.**, магистр
(ПАО «Шахта им. А.Ф. Засядько»)**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОВЕТРИВАНИЯ ШАХТЫ
ВЕНТИЛЯТОРАМИ ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ В ХОЛОДНЫЙ
ПЕРИОД ГОДА****Жалілов О.Ш.**, магістр
(ДП «Селідоввугілля»),**Бунько Т.В.**, д-р техн. наук, ст. наук. співр.,**Кокоулін І.Є.**, канд. техн. наук, ст. наук. співр.
(ІГТМ НАН України),**Пірогов Е.Я.**, магістр
(ПАТ «Шахта ім. О.Ф. Засядька»)**ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОВІТРЮВАННЯ ШАХТИ ВЕНТИЛЯТОРАМИ
ГОЛОВНОГО ПРОВІТРЮВАННЯ В ХОЛОДНИЙ ПЕРІОД РОКУ****Zhalilov A.Sh.**, M.S. (Tech.)
(GP «Selydovugol»),**Bunko T.V.**, D. Sc. (Tech.), Senior Researcher,**Kokoulin I. Ye.**, Ph.D. (Tech), Senior Researcher
(IGTM NAS of Ukraine),**Pirogov E.Ya.**, M.S. (Tech.)
(PAS « A.F. Zasyadko mine»)**PERFECTION OF THE MINE VENTILATION
BY MAIN FAN IN A COLD PERIOD OF YEAR**

Аннотация. Рассмотрены основные вопросы, связанные с учетом влияния обводненности каналов на эффективность работы вентиляторов главного проветривания, в том числе при реверсировании вентиляционной струи в холодное время года. Если в шахте осуществляется нормальный вентиляционный режим – фактор обводненности вентиляционных потоков, как правило, не оказывает серьезного влияния на работу вентиляторов главного проветривания. Иначе обстоит дело в холодное время года. Если вентиляционный режим остается нормальным – производится обогрев вентиляционного ствола, при этом температурный режим подающей струи остается нормальным. Если же режим проветривания переключается на реверсивный – происходит поступление теплой и влажной воды на направляющие аппараты и турбину и соответствующее обледенение элементов вентиляторов главного проветривания. Необходимо принятие соответствующих мер, препятствующих обледенению этих элементов; в качестве таких мер предлагается орошение лопаток направляющего аппарата и колеса вентилятора главного проветривания предварительного перед реверсированием, а также в процессе его, техническим маслом.

Определены технические и экономические характеристики этого масла, и принципы обработки им элементов вентилятора главного проветривания.

Ключевые слова: обводненность, вентиляторы главного проветривания, реверсирование вентиляционной струи, техническое масло.

Известно, что нарушение устойчивости вентиляционной ветви происходит при существенном изменении ее аэродинамического сопротивления, причиной чему служат взрывы, завалы, резкое изменение сечения ветви в результате действия горного давления. К перечисленным факторам относятся и перебои в работе вентилятора.

Наличие капель воды в вентиляционных потоках (капеж) может оказывать заметное влияние на аэродинамическое сопротивление выработки, а следовательно - и на устойчивость вентиляционного режима. Это влияние проявляется в ухудшении вентиляции выработки, и вызвано так называемым " давлением " капежа. В некоторых случаях капеж может привести даже к изменению нормального вентиляционного режима.

Капеж или фактор обводненности вентиляционных потоков оказывает влияние на работу вентилятора главного проветривания (ВГП), в частности это касается случая, когда эксплуатация ВГП осуществляется на территории с высоким уровнем грунтовых вод, поступающих в канал ВГП, а также в случае общешахтного реверсирования вентиляционной струи. Изменение плотности воздуха, связанное с обводненностью каналов является причиной отклонения режимов работы ВГП от проектных. Так, например, влияние фактора обводненности показало, что это явление особенно опасно в холодное время года, когда из-за низкой температуры засасываемого воздуха (ниже -5°C) и высокой влажности, вызванной увеличением притока воды в этот период времени, происходит обледенение элементов ВГП. Это может привести к дисбалансу вращающегося рабочего колеса вентилятора и возникновению аварийной ситуации.

Таким образом, наличие капежа, его влияние на работу ВГП должно учитываться при расчетах устойчивости шахтных вентиляционных систем (ШВС), выполняемых как на стадии проектирования, так и при управлении вентиляцией действующих шахт. В качестве исходных данные используются значения расходов воздуха, параметров источников тяги и предполагаемое количество влаги в воздушной струе. Влияние изменения плотности исходящей среды на режимы работы ВГП подлежит дальнейшим исследованиям.

Как было отмечено выше, наличие капежа и его влияние на работу ВГП должно учитываться при расчете устойчивости вентиляционных систем. Поэтому к приведенным видам контроля следует добавить контроль количества воды, находящейся в подвешенном состоянии в вентиляционном стволе и вентиляционном канале ВГП. Ухудшение функции вентиляционной системы, вызванное неэффективной работой технических средств местного регулирования и ВГП, приводит к снижению устойчивости проветривания и возникновению аварийных ситуаций.

Существующие методы определения надежности вентиляционной системы, исходят из следующих допущений:

1) известна структурная взаимосвязь составляющих элементов системы (топология ШВС);

2) система находится в состоянии равновесия (переходные процессы не рассматриваются);

2) расчету подлежат те элементы ШВС, которые при нарушении их функционирования могут стать причиной выхода из строя всей системы в целом.

Следует отметить, что в рассматриваемых нами случаях реверсирование вентиляционной струи осуществляется в установках с центробежными вентиляторами. Воздух направляется рабочим ВГП в обводной канал, а оттуда по общему каналу – в вентиляционный ствол. Такая схема характерна тем, что диффузоры работающего и резервного ВГП размещены рядом, а верхняя часть диффузора переходит в несколько сужающийся канал – конфузор. Он спроектирован так, что при скорости ветра до 25 м/с и любой подаче ВГП над выходными отверстиями образуется тепловая завеса, препятствующая проникновению холодного окружающего воздуха в установку и исключает обмерзание последней. Однако, как показывает опыт работы ВГП в холодное время года, такими мерами может быть ликвидировано обмерзание элементов ВГП только от поступления атмосферного воздуха в нормальном режиме; проблему подогрева воды, находящейся непосредственно в канале ВГП, они не решают.

Имеется несколько вариантов снижения вредного воздействия воды, находящейся в канале ВГП, на характеристики его работы. Один из них – откачка воды из вентиляционного канала насосами или инжекторами. Однако в условиях высокой обводненности достигаемый ею эффект недостаточен, т.к. за счет высокой степени разрежения, создаваемого ВГП в вентиляционном канале, значительное количество воды поступает непосредственно к рабочему колесу, и удаление ее насосами встречает определенные трудности. Неэффективен и тампонаж дна вентиляционных каналов, т.к. при их заглубке на глубину 5 метров ниже уровня земной поверхности на протяжении 35 – 40 м (что характерно для многих шахт Украины), работа эта весьма трудоемка и дорогостояща, а результативность ее вызывает сомнения.

Решением вопроса может служить установка калорифера перед проемом атмосферной будки ВГП с подключением его с целью подогрева поступающего в шахту атмосферного воздуха только в условиях реверсирования вентиляции в холодное время года. Температура поступающего воздуха, как показали исследования, должна быть не ниже $+1^{\circ}\text{C}$, чем будет снижено (но не исключено) образование и поступление в канал ВГП частиц льда. Однако установка его на ВГП скипового ствола потребует капитальных вложений и производства строительного-монтажных работ (особенно при необходимости обеспечения температуры в атмосферной будке не ниже $+5^{\circ}\text{C}$, что наиболее эффективно), а это обойдется недешево.

Другим вариантом решения вопроса может быть орошение лопаток направляющего аппарата и колеса ВГП предварительно перед реверсированием, а также в процессе его, маслом. Поскольку температура замерзания масла (для масла средней стоимости, доступного в больших количествах для использова-

ния в целях обеспечения снижения обмерзания деталей ВГП) составляет от -30°C до -45°C), что значительно ниже температуры замерзания воды, вероятность обмерзания лопаток, орошенных маслом, значительно снижается. Это происходит, во-первых, за счет того, что температура атмосферного воздуха, соответствующая точке замерзания масла, на территории Украины практически не наблюдается, а во-вторых – на орошенных маслом лопатках вода не удерживается (коэффициент взаимного скольжения всех типов масел и воды невысок), а взвесь разбрызгивается и уносится в вентиляционный ствол, где обмерзание элементов ВГП не представляет значительной опасности.

Для осуществления орошения элементов ВГП маслом могут быть предложены следующие действия. Было разработано устройство, состоящее из двух резиновых шлангов, надетых на штуцера, вваренные в боковые металлические стенки кожуха направляющих аппаратов ВГП. Концы шлангов опускаются в емкость с маслом на глубину 10 – 15 мм (по ходу обработки необходимо следить за уровнем масла в емкости), и за счет развиваемой ВГП депрессии перед открытыми лопатками обоих направляющих аппаратов создается распыленная масляная завеса. Образующийся аэрозоль оседает на лопатки направляющего аппарата, замедляя процесс его обмерзания. Если же продолжать указанные операции в течение всего процесса реверсирования, обмерзание может и вовсе не произойти.

Вместо масла может быть использован другой тип жидкости с низкой температурой замерзания, например, используемой при эксплуатации самолетов в условиях Крайнего Севера. Правда, решающим является вопрос его стоимости. Вопрос этот требует проведения дополнительных исследований, однако решение его настоятельно необходимо, т.к. отсутствие мер способно серьезно повлиять на состояние проветривания шахты и возникновение аварийных ситуаций.

Широко используются для покрытий подземных сооружений, в частности трубопроводов, пластифицированные эмали на основе каменноугольной смолы и битума [1,5]. В горной промышленности для условий работы шахтных крепей в районах Крайнего Севера используют морозоустойчивые рабочие жидкости. К ним относятся изготавливаемые за рубежом эмульсолы типа ВР-Energol SB-4, В 2010, Дромус, Пирогидроль, эмульсолы на основе минерального масла Гидрол-20 Р и эмульгатора Экстра-2 [2]. Эти жидкости имеют свойство образовывать защитную пленку, противодействующую коррозии и образованию льда, для чего в их состав вводят поверхностно активные вещества. В отечественной горной промышленности используются 35% водные растворы полимеров с рабочей температурой от -20 до $+60^{\circ}\text{C}$, а также безводные жидкости с рабочей температурой от -20 до $+150^{\circ}\text{C}$. К таким жидкостям относятся некоторые технические масла (правда, при плюсовых температурах применение их экономически неэффективно).

Используемые масла должны иметь низкую вязкость, позволяющую осуществлять их засасывание внутрь кожухов направляющих аппаратов за счет депрессии, развиваемой ВГП. Обеспечения необходимой вязкости можно добиться

ся разбавлением масла с высокой вязкостью или выбором соответствующей марки технического масла. Можно использовать масла марок ВМ-4, ТМ-1, трансформаторное масло и др., но для этого необходимо (если это возможно) ввести в них специальные химические добавки, значительно снижающие или устраняющие их пожароопасность. Хотелось бы выделить широко используемое в электротехнике трансформаторное масло, т.к. оно обладает высоким коэффициентом теплопроводности, защищающим трансформаторы от перегрева.

В используемые при решении данной проблемы масла можно добавлять ингибиторы коррозии и антиокислители.

Таким образом, использование дешевых технических масел и специальных жидкостей с низкими температурами замерзания будет способствовать повышению эффективности процесса обмерзания элементов ВГП и повышения безопасности ведения аварийно-восстановительных работ в аварийных ситуациях.

Для обоснования принципа работы устройства орошения элементов ВГП жидкостью, снижающей вероятность их обледенения, рассмотрим процесс движения жидкости по шлангу, один конец которого опущен в бак с маслом, а другой находится внутри кожуха направляющего аппарата. В качестве рабочей жидкости выступает техническое масло, которое движется по шлангу длиной L (м) за счет перепада давлений $\Delta p = p_n - p_k$ (н/м²), где p_n – давление на входе в шланг,

$$p_n = p_0 + \rho \cdot g \cdot H,$$

где p_0 – давление окружающей среды; H – высота столба жидкости в данной точке, а p_k – на выходе из него (на входе в кожух). Рассмотрим процесс на примере движения жидкости, качаемой насосом из бака [3] по трубопроводу диаметром d (м) (см. рис 1).

Режим течения жидкости будем считать ламинарным, что характерно для сильно вязких жидкостей с числом Рейнольдса $Re < 2000$. При расчете можно использовать формулы, широко применяемые в гидравлике.

Так как площадь сечения шланга $S = const$, то согласно уравнению для секундного объемного расхода жидкости:

$$Q = U_1 \cdot S_1 = U_2 \cdot S_2 = U \cdot S \text{ (м}^3\text{/с)},$$

где $U_1 = U_2 = U$ – скорости на входе и на выходе шланга соответственно; $S_1 = S_2 = S$ – соответствующие площади поперечного сечения шланга.

Согласно формуле Пуазеля

$$Q = \frac{\pi \cdot d^4 \cdot \Delta p}{128 \cdot \nu \cdot \rho \cdot L} \text{ (м}^3\text{/с)},$$

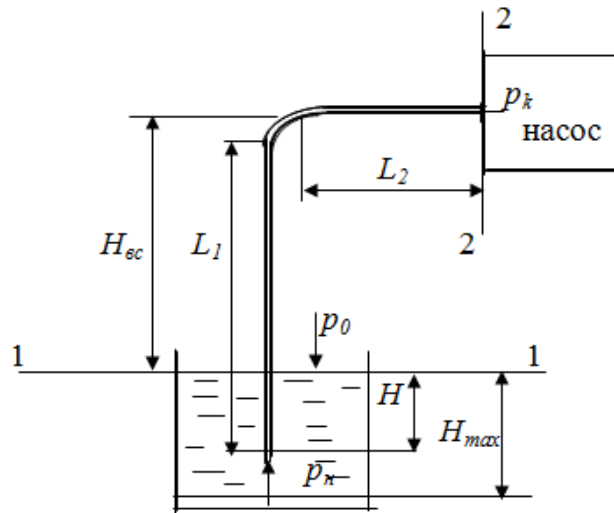


Рисунок 1 - Схема функционирования трубопровода

где ν – кинематическая вязкость ($\text{м}^2/\text{с}$); ρ – плотность жидкости ($\text{кг}/\text{м}^3$), откуда

$$U = \frac{\pi \cdot d^4 \cdot (p_n - p_k)}{128 \cdot \nu \cdot \rho \cdot L \cdot S}.$$

Полный напор жидкости H_2 (м) в сечении 2-2, создаваемый насосной установкой, расходуется на перемещение жидкости по трубопроводу и на преодоление сопротивлений в шланге. Используя уравнение Бернулли для выделенных сечений 1-1 и 2-2, имеем:

$$H_2 = H_1 - H_{\text{ном}1-2} \text{ (м)}, \quad (1)$$

где H_1 – напор в сечении 1-1

$$H_1 = \frac{p_n}{\rho \cdot g} - H_{\text{сc}} \text{ (м)}, \quad (2)$$

где $H_{\text{сc}}$ – геометрическая высота всасывания (м); $g = 9,8 \text{ м}/\text{с}^2$; $H_{\text{ном}1-2}$ – потери напора между выделенными сечениями 1-1 и 2-2.

$$H_{\text{ном}1-2} = H_{l1} + H_{m1} + H_{l2} + H_{m2} \text{ (м)},$$

где H_{l1} – потери напора по длине L_1 ; H_{m1} – местные потери напора на повороте трубопровода; H_{l2} – потери напора по длине L_2 ; H_{m2} – местные потери напора на выходе из трубопровода

$$H_{\text{ном}1-2} = \left(\frac{8 \cdot \lambda}{g \cdot \pi \cdot d^5} \cdot (L_1 + L_2) + \frac{8}{g \cdot \pi^2 \cdot d^4} \cdot (\xi_1 + \xi_2) \right) \cdot Q^2$$

где ξ_1 – коэффициент местных сопротивлений в месте поворота трубопровода. Значение ξ_1 можно вычислить по формуле:

$$\xi_1 = \left[0.2 + 0.001 \cdot \left(100 \cdot \frac{75 \cdot v}{U \cdot d} \right)^8 \right] \cdot \sqrt{\frac{d}{r}},$$

где r – радиус скругления трубопровода, или определить по графику (для трубопровода $d = 2 \cdot 10^{-2}$ (м) и внутренней шероховатостью $\delta > 0,0005$ $\xi_1 = 0,2$) [4]; ξ_2 – коэффициент местных сопротивлений в месте внезапного расширения на выходе из трубопровода (принимается $\xi_2 = 1$)

Для перевода градусов условной кинематической вязкости $^{\circ}BY$ в единицы системы СИ (m^2/c) для v можно воспользоваться эмпирической формулой Уббелюде [4]:

$$v = \left(0.0731 \cdot {}^{\circ}BY - \frac{0.0631}{{}^{\circ}BY} \right) \cdot 10^{-4}$$

Вязкость минеральных масел в пределах давлений $p=0-50$ МПа можно вычислить по формуле:

$$v_p = v_0 \cdot (1 + 0,03 \cdot p),$$

где v_p , v_0 – кинематические вязкости соответственно при давлении p и атмосферном давлении p_0 .

Потери давления по длине трубопровода можно определить по формуле:

$$\Delta p_L = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \rho \cdot \frac{U^2}{2}$$

Из формулы

$$H_{gc} = \frac{p_n - p_k}{\rho \cdot g} = \frac{p_0 + \rho \cdot g \cdot H - p_k}{\rho \cdot g}$$

видно, что H_{gc} растет с увеличением глубины погружения H . В результате это приводит, согласно (1) и (2), к падению полного напора H_2 . Таким образом можно сказать, что при некотором значении $H = H_{max}$ значение H_2 будет минимальным, а при $H \approx 0$ достигнет своего максимального значения. При $H = H_{max}$ перепада давлений Δp будет недостаточно для подачи жидкости к насосу.

Выводы. Из рассмотренного примера следует, что обеспечение наиболее благоприятного режима всасывания масла из бака и его подачи внутрь кожуха направляющего аппарата достигается погружением в масло входного конца

шланга на минимальную глубину. Этого режима можно добиться изменением энергии положения поверхности жидкости в баке путем его установки на большую высоту. Кроме того, ухудшение подачи масла может быть вызвано присасыванием конца шланга к дну бака, наличием на дне слоя густого осадка, а также увеличением с течением времени вязкости масла, вызванного либо его охлаждением воздушным потоком, либо его физическими свойствами.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Коррозия / под редакцией Л.А. Шрайера.- М.: Металлургия, 1981.- 465 с.
2. Пономаренко, Ю.Ф. Расчет и конструирование гидроприводов механизированных крепей / Ю.Ф. Пономаренко.- М.: Машиностроение, 1981.- 204 с.
3. Гейер, В.Г. Гидравлика и гидропривод / В.Г. Гейер, В.С. Дулин, А.Н. Зоря. - 2-е изд.- М.: Недра, 1981.- 92 с.
4. Сборник задач по машиностроительной гидравлике / под ред. И.И. Куколевского и Л.Г. Подвидзя. - 3-е изд. - М.: Машиностроение, 1972. - 464 с.
5. НПАОП 10.0-1.01-10 Правила безпеки у вугільних шахтах: затв. наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду 22.03.2010 № 62. - Київ: 2010 - 2154 (Нормативний документ Мінвуглепрому України).

REFERENCES

1. Shayer, L.A. (1981), *Corroziya* [Corrosion] in Shraier, L.A. (ed.), Metallurgiya, Moscow, USSR.
2. Ponomarenko, Yu.F. (1981), *Raschet i konstruirovaniye gidroprivodov mekhanizirovannykh krepey* [Calculation and constructing of hydro-drive of powered support], Mashynostroeniye, Moscow, USSR.
3. Geyer, V.G., Dulin, V.S. and Zorya, A.N. (1981), *Gidravlika i gidroprivod*, [Hydraulics and hydro-drive], 2th edition, Bowels of the earth, Moscow, SU.
4. *Kukolevsky, I.I. and Podvidzya, L.G. (1972), Sbornik zadach po mashinostroitelnoy gidravlike* [Collection of tasks on a machine-building hydraulics], 3th edition, in Kukolevsky, I.I. and Podvidzya, L.G. (ed.), Mashynostroeniye, Moscow, USSR.
5. State committee of Ukraine on industrial safety, labour protection and mining supervision (2010), NPAOP 10.0-1.01-10: *Pravila bezpeki u vugilnirh shakhtakh* [NPAOP 10.0-1.01-10 Rules of safety in coal mines], Kiev, Ukraine.

Об авторах

Жалилов Александр Шамильевич, инженер, главный механик ГП «Селидовуголь», Селидово, Украина, alnat01@mail.ru.

Бунько Татьяна Викторовна, доктор технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник в отделе проблем разработки месторождений на больших глубинах Института геотехнической механики ім. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровськ, Украина, bunko2007@mail.ru

Кокоулин Иван Евгеньевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник в отделе проблем разработки месторождений на больших глубинах Института геотехнической механики ім. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровськ, Украина, bunko2007@mail.ru

Пирогов Эдуард Яковлевич, инженер, ПАО «Шахта им. А.Ф. Засядько», Донецк, Украина, bunko2007@mail.ru.

About the authors

Zhalilov Alexandr Shamilyevich, Master of Science, Chief mechanical engineer of the state enterprise «Selidovugol», Selidovo, Ukraine, alnat01@mail.ru.

Bunko Tatyana Viktorovna, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Senior Researcher, Senior Researcher in the Department of Mineral Mining at Great Depths N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, bunko2007@mail.ru.

Kokoulin Ivan Yevgenyevich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Researcher, Senior Researcher in the Department of Mineral Mining at Great Depths N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Me-

chanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, bun-ko2007@mail.ru.

Pirogov Eduard Yakovlevich, Master of Science, engineer of PAS « A.F. Zasyadko mine», Donetsk, Ukraine, bun-ko2007@mail.ru.

Анотація. Розглянуто основні питання, зв'язані з урахуванням впливу обводнює каналів на ефективність роботи вентиляторів головного провітрювання, зокрема при реверсуванні вентиляційного струменя в холодну пору року. Якщо в шахті здійснюється нормальний вентиляційний режим – чинник обводнення вентиляційних потоків, як правило, не має серйозного впливу на роботу вентилятора головного провітрювання. Інакша справа в холодну пору року. Якщо вентиляційний режим залишається нормальним – виконується обігрів вентиляційного стовбура, при цьому температурний режим подаючого струменя залишається нормальним. Якщо ж режим провітрювання перемикається на реверсивний – відбувається надходження теплої і вологої води на спрямовуючі апарати і турбіну і відповідне обмерзання елементів вентилятора головного провітрювання. Необхідне вживання відповідних заходів, перешкоджаючих обмерзанню цих елементів; як такі заходи пропонується зрошування лопаток спрямовуючого апарату і колеса вентилятора головного провітрювання попереднього перед реверсуванням, а також в процесі його, технічним маслом. Визначені технічні і економічні характеристики цього масла, і принципи обробки ним елементів вентилятора головного провітрювання.

Ключові слова: обводненість, вентилятори головного провітрювання, реверсування вентиляційного струменя, технічне масло.

Annotation. The basic questions linked taking into account influence of water intrusion of channels on efficiency of work of main fan are considered, including at reversion of ventilation stream in cold time of year. If in a mine the normal ventilation mode is carried out is the factor of water intrusion of ventilation streams, as a rule, does not have serious influence on the main fan work. Otherwise there is business in cold time of year. If the ventilation mode remains normal – heating of ventilation trunk is produced, here the temperature condition of giving stream remains normal. If the mode of ventilation is commuted on reversible – there is the receipt of warm and moist water on sending vehicles and turbine and proper icing of the main fan elements. Acceptance of the proper measures impedimental to icing of these elements is needed; in quality such measures irrigation of shoulder-blades of sending vehicle and the main fan wheel of preliminary before reversion is offered, and also in the process of him, by a technical oil. Technical and economic descriptions of this oil, and principles of treatment by him the main fan elements were determined.

Keywords: water intrusion, main fan, reversion of ventilation stream, technical oil.

Стаття постуила в редакцію 12.09.2015

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук К.К. Софийским