

В.В. Лобода, канд.техн.наук., А.В. Соловьев, инженер (НИИ горной механики им. М.М.Федорова, г. Донецк, Украина)

Повышение эксплуатационной надежности и экологичности шахтных передвижных винтовых компрессорных установок

Представлены результаты исследований и анализа влияния эксплуатации шахтных передвижных винтовых маслозаполненных компрессорных установок на экологию в забоях горных выработок. Установлены причины появления повышенного уноса масла в пневмосеть после винтовых компрессоров (ВК) и ухудшения их экологичности в процессе длительной эксплуатации в угольных шахтах.

Обоснована возможность количественной оценки содержания аэрозолей масла в сжатом воздухе, подаваемом в воздухопроводы шахтными ВК.

Приведены результаты разработки технических решений, направленных на повышение экологичности и совершенствование системы контроля уноса масла со сжатым воздухом, вырабатываемым шахтными винтовыми маслозаполненными компрессорами.

Ключевые слова: винтовая маслозаполненная компрессорная установка, эксплуатационная надежность, шахта, экологичность, исследования, технические решения.

Представлені результати досліджень і аналізу впливу експлуатації шахтних пересувних гвинтових маслозаповнених компресорних установок на екологію в гірських забоях. Встановлені причини появи підвищеного внесення мастила в пневмосеть після гвинтових компресорів (ВК) і погіршення їх екологічності в процесі тривалої експлуатації у вугільних шахтах.

Обґрунтована можливість кількісної оцінки вмісту аерозолів мастила в стислому повітрі, що подається в повітропроводи шахтними ВК.

Приведені результати розробки технічних рішень, спрямованих на підвищення екологічності і вдосконалення системи контролю внесення мастила із стислим повітрям, що виробляється шахтними гвинтовими маслозаповненими компресорами.

Ключові слова: гвинтова маслозаповнена компресорна установка, експлуатаційна надійність, шахта, екологічність, дослідження, технічні рішення.

The results of researches and analysis of influence of exploitation are presented mine movable screw oil fill compressor options on ecology in the coalfaces of the mountain making. Reasons of appearance of the enhanceable carrying away of oil are set in air system after screw compressors and worsening of their ecofriendliness in the process of the protracted exploitation in coal mines.

Possibility of quantitative estimation of maintenance of aerosols of oil is reasonable in the compressed air given in air-channels mine.

Results over of development of the technical decisions, sent to the increase of ecofriendliness and perfection of the checking of carrying away of oil with the compressed air produced by mine screw oil fill compressors, are brought.

Keywords: screw oil fill compressor setting, operating reliability, mine, ecofriendliness, researches technical.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами

Анализ результатов многолетнего опыта и исследований эксплуатации шахтных передвижных винтовых компрессорных установок (КУ) УКВШ – 5/7, УКВШ – 15/7, разработанных в 1999 г. НИИГМ им. М.М.Федорова и АО «НПАО ВНИИкомпресормаш» и станций ЗИФ – ШВ – 5М показали, что имеются существенные резервы в повышении их эксплуатационной надежности и экологичности.

Следует отметить, что несмотря на эксплуатацию шахтных винтовых компрессорных установок УКВШ – 5/7 в особо неблагоприятных условиях горных выработок угольных шахт с повышенной пыленностью и влажностью и не всегда четким соблюдением регламента работ по их обслуживанию эксплуатирующими предприятиями, эти компрессорные машины

успешно выдержали испытания временем. Из двух тысяч этих установок, поставленных на шахты предприятием концерна «Укростметалл», более 50% выработали установленный ресурс работы (40000 ч.) без капитального ремонта. Поэтому можно утверждать, что эти компрессорные установки являются лучшими по сравнению с компрессорными установками других производителей. Подтверждением этому является тот факт, что ни одна из зарубежных фирм за последнее десятилетие не смогла предложить угольной отрасли Украины аналогичных конструкций шахтных компрессоров.

Однако практика требует дальнейшего совершенствования этих винтовых компрессорных установок, что в первую очередь связано с необходимостью повышения качества вырабатываемого ими сжатого воздуха и надежности работы узлов и систем.

Широкое применение передвижных винтовых маслозаполненных компрессорных установок УКВШ производительностью от 5 до 15 м³/мин и станций ЗИФ – ШВ – 5М в подземных условиях шахт потребовало более тщательных исследований и разработки новых технических решений для улучшения экологичности этих машин в связи с применением в них нефтяных масел в качестве рабочей жидкости. Особенно остро этот вопрос стоит при использовании их в непосредственной близости от подземных пневмопотребителей и подаче сжатого воздуха к механизмам очистных и проходческих забоев с работающими в них людьми. Сжатый воздух с определенным содержанием паров и аэрозолей масла, контроль количества которых в нем не производится, подается винтовыми компрессорами в пневмосеть, а затем выбрасывается после пневмомеханизмов в забой и влияет на санитарно – гигиенические показатели окружающей среды.

Это обстоятельство становится достаточно ощутимым негативным явлением при сосредоточении нескольких таких компрессорных установок в одной горной выработке.

С другой стороны применение нефтяных масел для смазки узлов трения и отвода тепла от шахтного компрессора существенно упрощает его конструкцию, но при этом требуется обеспечение тщательного контроля за температурным режимом как непосредственно на выходе из рабочей полости, так и в локальных местах трения (подшипниковые узлы, шестерни редуктора и др.).

Пониженное количество масла в системе смазки из-за резкого возрастания его уноса в пневмосеть по различным причинам приводит к работе узлов трения компрессора в нерасчетных (аварийных) режимах и их преждевременному износу, снижая при этом эксплуатационную надежность компрессора в целом.

Анализ исследований и публикаций

Вопросам исследования санитарных условий в забоях угольных шахт при работе винтовых маслозаполненных компрессоров еще в первые годы их применения было уделено особое внимание [1]. Установлено, что унос масла в пневмосеть зависит от режимов работы винтовых компрессоров и изменяется в процессе их эксплуатации. Состояние рабочей жидкости (наличие механических примесей, влаги и др.) и ее количество в системе охлаждения и смазки в значительной степени влияет на эксплуатационную надежность шахтных винтовых компрессоров.

В работах [2,3] исследованы вопросы распределения концентрации дисперсных частиц в трубопроводах после компрессоров, что важно при создании устройств для очистки сжатого воздуха.

Ряд работ посвящено совершенствованию конструкции системы смазки шахтных винтовых маслозаполненных компрессоров [4,5]. От работы этой системы, особенно в нерасчетных режимах, в значительной степени зависит унос аэрозолей масла в пневмосеть и состояние шахтной атмосферы в забоях горных выработок.

Некоторые исследования и конструктивные разработки направлены на улучшение качества сжатого воздуха, подаваемого шахтными компрессорными установками к подземным пневмопотребителям [6]. Это особенно важно при длительной эксплуатации маслозаполненных компрессорных установок в шахте, когда

их технические характеристики, в том числе тепловой режим, ухудшаются и наблюдается повышенный унос масла со сжатым воздухом.

Постановка задачи

Для разработки эффективных технических решений по повышению эксплуатационной надежности и обеспечения стабильных показателей качества сжатого воздуха в пневмосетях после шахтных маслозаполненных винтовых компрессоров и экологии окружающей среды в забоях горных выработок необходимо иметь в любой период времени достоверные данные о количестве паров и аэрозолей масла в сжатом воздухе, вырабатываемом компрессорами.

В связи с этим поставлена задача выявления основных причин, приводящих к увеличению загрязнения сжатого воздуха в нагнетательной линии после шахтных винтовых компрессоров в процессе их эксплуатации и разработке технических средств для контроля уноса масла, повышения экологичности и эксплуатационной надежности этих машин.

Изложение материала и результаты

Поддержание постоянных показателей качества сжатого воздуха в процессе эксплуатации шахтных КУ имеет большое значение для поддержания соответствующих санитарных условий в забоях горных выработок, в которые этот воздух выбрасывается через пневмомеханизмы. В соответствии с санитарными нормами предприятий угольной промышленности допустимое содержание масла в воздухе рабочей зоны не должна превышать 5 мг/м³. Как показывают исследования, содержание масла в сжатом воздухе после шахтных винтовых маслозаполненных компрессоров в процессе эксплуатации может в несколько раз превышать указанную норму [1], что приводит к необходимости оснащения шахтных маслозаполненных компрессоров устройствами для контроля уноса масла и разработки дополнительных устройств для очистки сжатого воздуха. В таблице приведены данные по содержанию аэрозолей масла в сжатом воздухе после винтовых компрессоров УКВШ – 5/7, ЗИФ – ШВ – 5, ВВ – 25/9, эксплуатируемых на угольных предприятиях.

Установлено, что в процессе эксплуатации шахтных маслозаполненных ВК содержание аэрозолей масла в сжатом воздухе на выходе из компрессоров может значительно увеличиться по сравнению с паспортными данными заводов изготовителей. Особенно большим (до 200÷300 мг/м³) становится унос масла в пневмосеть при работе маслозаполненного ВК в нерасчетных режимах по давлению нагнетания и температуре. Наблюдались также случаи практически полного уноса масла в пневмосеть из-за прорыва фильтроэлементов маслоотделителя компрессорной установки, а также после проведения некачественного его ремонта.

Было установлено, что основными причинами повышенного уноса масла в пневмосеть являются:

1. Повышение температуры окружающей среды и температуры конца процесса сжатия в компрессоре (возрастает унос масла в виде пара).
2. Работа компрессора в неуставившихся режимах по давлению нагнетания (особенно при пусках и нечеткой работе клапана минимального давления).
3. Загрязнение и порывы фильтрующего материала маслоотделителя ВК при длительной эксплуатации.

Таблица. Данные о содержании аэрозолей масла в сжатом воздухе

Источник получения данных	Содержание аэрозолей масла в сжатом воздухе, мг/м ³			Примечание
	Компрессорные установки		Компрессорная станция	
	УКВШ -5/7	ВВ-25/9	ЗИФ - ШВ - 5М	
	Выпуск после 2000 г.	Выпуск до 2000 г.	Выпуск до 2000 г.	
По паспортным данным завода - изготовителя	66,7	84,6	66,7	Повышение содержания аэрозолей масла в сжатом воздухе связано с загрязнением фильтрующих элементов маслоотделителя, ухудшением температурного режима и др.
По усредненным данным эксп. измерений в процессе эксплуатации	67 -120	84,4 -160	68 -140	

4. Некачественная сборка маслоотделителей ВК во время проведения регламентных работ по его очистке и др.

Как известно, контроль уноса масла на выходе из шахтных ВК в настоящее время не предусмотрен. Однако контроль количества масла, уносимого со сжатым воздухом после шахтного компрессора в пневмосеть при его работе, как показала многолетняя практика, имеет большое значение в процессе эксплуатации этих машин, так как это позволяет своевременно принять меры по восстановлению или ремонту узлов системы воздухоочистки, понизить тем самым затраты на дозправку масла в систему смазки, предотвратить работу компрессора с пониженным количеством масла, приводящим к ухудшению работы узлов трения и снижения их эксплуатационной надежности.

Существующие методики определения содержания масла в сжатом воздухе после компрессоров практически не могут быть реализованы в шахтных условиях эксплуатации, т.к. в них предусмотрено пропускание всего потока воздуха через тарированный фильтр – влагоотделитель и, как показывает практика, требуют достаточно большого периода времени (от нескольких часов до нескольких суток) испытаний для получения необходимой привески масла на фильтре для дальнейшего анализа. Кроме того, эти методы не предусматривают улавливание паров масел (составляющих значительную часть всего уноса при повышенных температурах рабочего процесса) и не позволяют осуществить контроль за уносом масла в переходных режимах работы компрессоров, продолжительность которых исчисляется несколькими минутами, и характеризуется значительными колебаниями уноса масла со сжатым воздухом.

Учитывая это, НИИГМ им. М.М.Федорова считает необходимым применить на шахтной компрессорной установке измерительное устройство с отводом на него

незначительной части потока сжатого воздуха для контроля уноса масла.

Возможность применения такого устройства с отводом части маслвоздушного потока для последующего анализа, с целью характеристики всего нагнетаемого компрессором воздушного потока на предмет содержания в нем аэрозолей масла определяется следующим.

Распределение концентрации дисперсных частиц в маслвоздушном потоке в трубопроводе после шахтного ВК может быть установлено на основе уравнения турбулентной диффузии [2]

$$\pm \omega \cos \alpha = D ds / dy, \quad (1)$$

где S – текущее значение концентрации частиц в потоке воздуха; ω – гидравлическая крупность взвешенных частиц; α – угол наклона трубы к горизонту; D – коэффициент турбулентного перемешивания; y – расстояние от стенки трубы, соответствующее концентрации S . Если направления вектора ω и y совпадают, то в (1) принимается знак «плюс», а если нет, то «минус».

Коэффициент турбулентного перемешивания может быть равным коэффициенту турбулентной вязкости [3].

$$D = \nu_{cp}(0,125\lambda)^{1/2}l,$$

где: ν_{cp} – средняя скорость потока; λ – коэффициент гидравлического сопротивления; l – длина пути перемешивания.

Длина l , зависящая от расстояния до стенки трубы, может быть принята по данным [7], тогда:

$$D = (0,125\lambda)^{1/2} Z \nu_{cp} \exp(-yr^{-1}), \quad (2)$$

где Z – универсальная постоянная Кармана ($Z=0,4$); r – расстояние от стенки до оси трубы.

Подставляя (2) в (1), получим

$$\pm ds/s = ndy[y \exp(-yr^{-1})], \quad (3)$$

где $n = 2,8\omega \cos\alpha \lambda^{-1/2} Z^{-1} v_{cp}^{-1}$.

Рассматривая течение потока в вертикальной плоскости всей трубы, т.е. на расстоянии $2r$ и при направлении оси y от стенки к центру трубы, для распределения концентрации в верхней и нижней частях потока граничные условия уравнения (3) запишем: при $y=\delta$, $S_n=S_{c\delta}$, при $y=r$, $S_n=S_o=S_o$; также S_n , S_o – текущие значения концентрации частиц в нижней и верхней частях трубы; S_o – концентрация частиц на расстоянии δ от стенки в нижней части потока.

Решение уравнения (3) при указанных граничных условиях дает:

$$S_n = S_{c\delta} (y\delta^{-1})^{-n} \exp A / \exp B; \quad (4)$$

$$S_o = S_o (y\delta r^{-2})^n \exp A / \exp (2,6n - B); \quad (5)$$

где $A = n(\delta/r^{-1} + \delta^2/4r^2 + \delta^3/18r^3 + \dots)$, $B = n(y/r + y^2/4r^2 + y^3/18r^3 + \dots)$.

Обычно средняя концентрация частиц жидких фаз в воздухе известна и может быть выражена равенством:

$$S_{c\delta} = \left\{ \left[2(r-\delta)^{-1} \int_{\delta}^r (S_n - S_o) dy \right]^{-1} \right\}.$$

Откуда можно определить неизвестную величину

$$S_{\delta} = \left[2S_{cp}(r-\delta) \right] \left[(C + \Phi r^{-2n} \exp 2,6n) \exp A \right]^{-1}. \quad (6)$$

Подставив (6) в (4) и (5), получим следующие выражения распределения концентрации:

$$S_n = \left[2S_{cp}(r-\delta) \right] \left[(C + \Phi r^{-2n} \exp 2,6n) \exp B \right]^{-1}; \quad (7)$$

$$S_o = \left[2S_{cp}(r\delta) y^n \exp B \right] \left[(r^{2n} \exp 2,6n(C + \Phi r^{-2n} \exp 2,6n)) \right]^{-1}, \quad (8)$$

где C , Φ – величины, характеризующие геометрические размеры труб и среднюю скорость потока смеси.

Анализ формул (7) и (8) путем сравнения безразмерных концентраций S_n/S_{cp} и S_o/S_{cp} в пределах от 0 до 2 в зависимости от отношений y/r при различных значениях параметра n свидетельствует о том, что уменьшение этого параметра приводит к выравниванию концентрации по сечениям труб. При значении $n < 0,01$ наблюдается практически однородное распределение частиц по сечению, что характерно для труб малого диаметра ($\sim 5-30$ мм), а именно такие применяются в разработанном НИИГМ им. М.М.Федорова измерительном устройстве автоматического контроля уноса масла после шахтного ВК (рисунок).

Устройство, приведенное на рисунке, содержит компрессор 1, блок управления и индикации 2, закрытую емкость 3 с жидкостью, две управляемые задвижки 4 и 5, насос 6, расходомер 7, датчик температуры 8, датчик концентрации масла в жидкости 9, фильтр-маслоотделители 10, три патрубка 11, 12 и 13, фланец 14, корпус 15, прокладку 16, болтовое соединение 17, заборное устройство 18, штуцер 19, отбой-

ник 20, соединительную муфту 21, нагнетательную линию компрессора 22.

Устройство работает следующим образом. От компрессора 1, сжатый воздух поступает в нагнетательную линию 22 и через заборный устройство 18 и патрубки 11 и 12 – на управляемую задвижку 4. В случае поступления сигнала управления из блока управления и индикации 2 на управляемую задвижку 4, последняя открывается и сжатый воздух из пневмосети 22 поступает в закрытую емкость 3 со специальной жидкостью, где вступает во взаимодействие с ней. В закрытой емкости 3 с жидкостью происходит отделение масла, а сжатый воздух через отбойник 20 поступает на вход компрессора 1. Расходомер 7 измеряет количество сжатого воздуха, поступившего в закрытую емкость 3 с жидкостью и передает эту информацию на блок управления и индикации 2. Последний накапливает данные измерения в течение времени t , а затем формирует команды на закрытие управляемой задвижки 4 и открытие управляемой задвижки 5. Включает насос 6 и накачивает с закрытой емкости 3 с жидкостью полученную смесь жидкости и масла через фильтр-маслоотделители 10 обратно в закрытую емкость 3 с жидкостью. Одновременно с помощью датчиков 8 и 9 выполняется измерение температуры и концентрации масла в жидкости. Информация от указанных датчиков поступает в блок управления и индикации 2, обрабатывающего ее и, с учетом данных, полученных от расходомера 7, определяет концентрацию масла в сжатом воздухе пневмосети. По истечении времени, в течение которого выполнялась очистка жидкости от масла, определяется с помощью датчика 9 концентрация масла в жидкости, закрывается управляемая задвижка 5 и выключается насос 6. Далее цикл контроля вынесения масла со сжатым воздухом в нагнетательной линии 22 повторяется с заданным интервалом времени. При этом перед началом цикла контроля уноса масла блок управления и индикации 2 снимает показания с датчика концентрации масла в жидкости 9 и учитывает эти значения при определении концентрации масла в сжатом воздухе пневмосети.

При превышении концентрации масла в сжатом воздухе нагнетательной линии 22 выше допустимой величины формируется соответствующий сигнал, передаваемый в систему управления компрессора 1, и если ее концентрация значительно превышает допустимую, то формируется команда на отключение компрессора 1. Изменение динамического диапазона расхода воздуха в пневмосети, в случае работы нескольких компрессорных установок на одну сеть, не оказывает влияния на качество измерения концентрации масла в трубопроводе и управления компрессорной установкой, поскольку обеспечивается автоматический контроль измеряемых параметров и учет показаний датчика концентрации масла в жидкости 9.

Таким образом, автоматический анализ отведенной на разработанное измерительное устройство незначительной части масловоздушного потока после компрессора дает возможность характеризовать весь поток о содержании в нем аэрозолей и паров масла в случае ухудшения режима.

Устройство позволяет оперативно контролировать унос масла в нагнетательной линии компрессора,

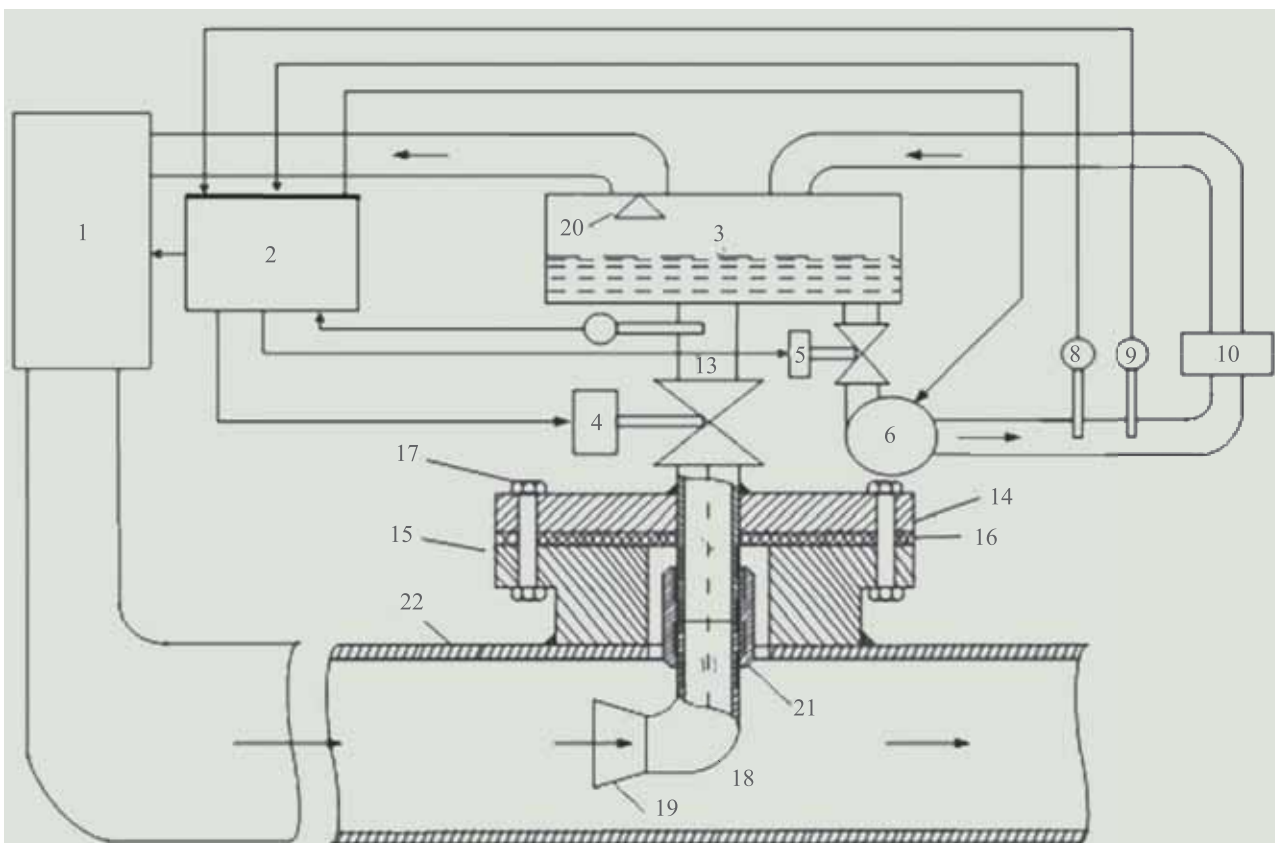


Рисунок. Схема устройства автоматического контроля уноса масла со сжатым воздухом после маслозаполненного компрессора

компрессорной установки, а также улучшает экологическую обстановку за счет предотвращения попадания вредных для здоровья людей выбросов паров и аэрозолей нефтяных масел в воздушную среду замкнутого пространства горных выработок шахт. В случае появления повышенного уноса масла после ВК оперативно принимается решение о необходимости проведения ремонта соответствующих узлов компрессорной установки.

Выводы

1. Снижение качества сжатого воздуха, вырабатываемого шахтными винтовыми маслозаполненными компрессорами и ухудшение их экологичности, напрямую зависят от эффективности работы системы воздухоочистки и температурного режима этих компрессоров.

2. Представляется возможным проведение количественной оценки уноса масла после ВК за счет отбора незначительной части потока сжатого воздуха из нагнетательной линии компрессора на специальное измерительное устройство.

3. Повышение эксплуатационной надежности и экологичности работы шахтного ВК может быть достигнуто как за счет совершенствования его системы смазки, так и за счет проведения постоянного контроля за уносом масла в пневмосеть и принятием на основе этого контроля своевременных мер по восстановлению нормального режима работы соответствующих узлов и систем шахтной компрессорной установки.

Список литературы

1. Нифонов В.П. Мероприятия по оздоровлению условий труда горнорабочих при применении маслозаполненных винтовых компрессоров / В.П.Нифонов, А.М.Арых, В.В.Лобода, А.З.Криличенко, В.Г.Ветошинов. // Изд-во «Медицина», «Гигиена труда и профессиональные заболевания», 1985.- № 11. – С.46-47.
2. Ушаков В.И. Параметры жидких фаз в шахтных пневматических установках с маслозаполненными компрессорами / В.И.Ушаков, В.В.Лобода, О.Н.Адьякланов // Изв. вузов. Горный журнал, 1986. – №2. – С.85 – 88.
3. Сковфондигов Ю.А. О распределении концентраций взвешенных частиц по сечению потока / Ю.А.Сковфондигов, А.К.Галлямов, Ю.И.Хасанов // Изв. Вузов «Нефть и газ», 1974. – №1. – С.72 -74.
4. А.с. 1605026 СССР. МКИ5 F04C29/02,18/16. Система смазки винтового компрессора/ В.В.Лобода, В.И.Дегтярёв (СССР). – №4462667/25-29; заявл. 18.07.88; опубл. 07.11.90, Бюл. № 41.
5. А.с. 1721296 СССР. МКИ F04B39/16. Маслоотделитель/ В.В.Лобода, В.И.Шеремет, П.В.Помазан (СССР). – №4793515/29; заявл.210290; опубл. 23.03.92, Бюл. №11.
6. А.с. 684245 СССР, МКИ4 F16T1/34. Водомаслоотделитель / Лобода В.В., Шеремет В.И. (СССР). - № 2568620/29-06; заявл. 05.01.78; опубл.05.09.79, Бюл. № 33.
7. Гордон Г.М. Пылеулавливание и очистка газов в цветной металлургии / Г.М.Гордон, И.Г.Пейсахов. – М: Металлургия, 1977. – 454с.