

Список литературы:

1. Маханько М.Г. Газотурбинные системы двигателей с разделённым выпуском газов/ М.Г. Маханько. – М.: Машиностроение, 1972.–120 с. 2. Зенкевич Г.В. Исследование рабочего процесса четырёхтактного двигателя с разделённым выхлопом / Г.В. Зенкевич, В.Г. Дьяченко // Сборник научн. трудов по механизации сельского хозяйства – Х., 1968. – Вып.13. – С. 63–71. 3. Пат. на полезную модель №113540 Российская федерация, МПК F 02D 9/14, F 02D 37/00. Двигатель внутреннего сгорания / А.Е. Свистула, М.И. Мысник, В.С. Яров; заявитель и патентообладатель АлтГТУ - № 2011126398/06 (039061); заявл. 27.06.2011; опубл. 20.02.12, бюл. №5. 4. Свистула А.Е. Разработка экспериментальной системы дополнительного выпуска отработавших газов двигателя внутреннего сгорания / А.Е. Свистула, А.А. Балашов, С.В. Яров // Вестник академии военных наук. – 2011. – №2 (35).– С. 278-284. 5. Балашов А.А. Уточненная методика обработки результатов статической продувки воздухом элементов системы газообмена двигателей с двойным

выпуском ОГ / А.А. Балашов, А.Е. Свистула, С.В. Яковлев // Ползуновский вестник. - №1. - 2010. – С. 203-206.

Bibliography (transliterated):

1. Mahan'ko M.G. Gazoturbinnnye sistemy dvigatelej s razdeljonnym vypuskom gazov/ M.G. Mahan'ko. – M.: Ma-shinostroenie, 1972.–120 s. 2. Zenkevich G.V. Issledovanie rabocheho processa chetyrjohtaktnogo dvigatelja s razdeljonnym vyhlopom / G.V. Zenkevich, V.G. D'jachenko // Sbornik nauchn. trudov po mehanizacii sel'skogo hoz'jaj-stva – H., 1968. – Vyp.13. – S. 63–71. 3. Pat. na poleznuju model' №113540 Rossijskaja federacija, MPK F 02D 9/14, F 02D 37/00. Dvigatel' vnutrennego sgoranija / A.E. Svistula, M.I. Mysnik, V.S. Jarov; zajavitel' i paten-toobladatel' AltGTU - № 2011126398/06 (039061); zajavl. 27.06.2011; opubl. 20.02.12, bjul. №5. 4. Svistula A.E. Razrabotka jeksperimental'noj sistemy dopolni-tel'nogo vypuska otrabotavshih gazov dvigatelja vnut-rennego sgoranija / A.E. Svistula, A.A. Balashov, S.V. Jarov // Vestnik akademii voennyh nauk. – 2011. – №2 (35).– S. 278-284. 5. Balashov A.A. Utochnennaja metodika obrabotki rezul'tatov staticheskoj produvki vozduhom dvigatelej s dvojnym vypuskom OG / A.A. Balashov, A.E. Svistula, S.V. Jakovlev // Polzunovskij vestnik. - №1. - 2010. – S. 203-206.

УДК 621.51:66.045.1:697.31

А.Н. Ганжа, д-р техн. наук, Н.А. Марченко, канд. техн. наук, В.Н. Подкопай, асп.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ И ОТПУСКА ТЕПЛОТЫ ОТ ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛЯ КОМПРЕССОРНОЙ УСТАНОВКИ С УЧЕТОМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБОРУДОВАНИЯ

Введение. В последнее время актуальной задачей является утилизация сбросной теплоты от двигателей и других установок, с целью повышения их энергетической эффективности и экологической безопасности. Широкое распространение в промышленности и других сферах получили компрессорные установки различного технологического назначения. Для снижения затрат электроэнергии или топлива, потребляемых установками, используется многоступенчатое сжатие среды с промежуточным ее охлаждением [1 и др.]. Далее отведенная теплота сбрасывается через теплообменники-охладители непосредственно в атмосферу (воздушное охлаждение), либо через системы оборотного охлаждения (водоемы или градирни) в окружающую среду. Для компрессорных установок наиболее рационально отводить теплоту от охлаждаемой среды посредством нагрева сетевой воды, и далее отпускать ее на технологические или коммунально-бытовые нужды.

Постановка задачи. Большой опыт эксплуатации воздухоохладителей компрессорных установок показывает, что они подвергаются загрязнению как с наружной, так и с внутренней стороны. При охлаждении циркуляционной или сетевой водой загрязнение поверхностей происходит, в основном,

с внутренней стороны (со стороны воды). Циркуляционная вода имеет сильное загрязнение, что приводит к отложениям на поверхностях или полному заглушению отдельных трубок. Это характерно и для сетевой воды, так как, зачастую, в таких нетрадиционных способах снабжения тепловой энергией ее постоянная очистка является нерентабельной. В процессе эксплуатации теплообменников количество заглушенных трубок растет, что снижает эффективность воздухоохладителей, и, в итоге, приводит к полному его заглушению и вынужденному отключению. Этот процесс приводит к росту температуры воздуха на входе в следующую ступень компрессора, увеличению потребляемой мощности, росту гидравлического сопротивления, уменьшению расхода, ухудшению качества и параметров нагреваемой воды. Сопротивление аппарата будет влиять на общий напор сети, куда он включен, и, следовательно – будет уменьшаться подача воды, которую обеспечивает насос. При передаче теплоты потребителю, большое ее количество теряется в окружающую среду через стенки и изоляцию трубопроводов, которая в процессе эксплуатации системы подвергается износу и утрачивает свои первоначальные свойства. Поэтому расчеты по определению эффективности установ-

ки, воздухоохладителя следует вести в комплексе с насосным оборудованием, гидравлическим и тепловым расчетами сети и системы потребления теплоты. Таким образом, разработка методов и средств, позволяющих определять эффективность и ресурс всей системы охлаждения, утилизации и отпуска теплоты от компрессорных установок, является важной задачей в энергосбережении.

Решение. Загрязнение и загромождение отдельных труб теплообменника зависит от множества случайных факторов: отклонений качества воды и ее загрязнения продуктами стояночной коррозии и др., отклонений в структуре поверхности труб, отклонений технологии изготовления аппарата, количества пусков, остановов, простоев и пр.

Основным этапом анализа является гидравлический расчет водяной сети, куда включен воздухоохладитель. В самом воздухоохладителе, в результате, определяются расходы и скорости воды в каждом ряду труб с учетом заданного количества полностью заглушенных труб. Местные сопротивления на входе в каждый ряд труб определяются по зависимостям из [2] с учетом заданного распределения величин сужения диаметра на входе и длин загрязненных участков. Местные и гидравлические сопротивления всей сети определяются по зависимостям из [2] с учетом диаметров трубопроводов, их соединения и установленной арматуры. Распределение давлений по точкам сети определяется с учетом высот на местности и активного напора, который создает насос согласно его характеристике. Так как система охлаждения и тепловая сеть представляет собой сложную гидравлическую структуру, то для расчета распределения расходов воды используются алгоритмы теории графов [3] с использованием метода поправочных контурных расходов.

После определения расходов и скоростей воды в каждом ряду труб производится тепловой расчет аппарата. Целью такого расчета является определение количества отведенной от воздуха теплоты или температуры воздуха на выходе из охладителя. Для решения поставленной задачи используется, разработанный авторами, алгоритм дискретного расчета сложного перекрестноточного аппарата [4].

Итеративный процесс гидравлического и теплового расчетов происходит до достижения допустимой сходимости по перепаду давлений в сети, тепловой производительности аппарата и отпуска теплоты потребителю.

Одновременно в процессе расчета определяются потери теплоты в окружающую среду при транспортировании теплоносителя по трубопроводам до и от потребителя тепловой энергии. В расчетах учитывается реальное состояние тепловой изоляции отдельных участков трубопроводов с помощью поправок к коэффициенту теплопроводности, определенных по результатам энергетического аудита. В алгоритме используются фактические параметры окружающего воздуха (температура, скорость ветра). При подземной прокладке трубопроводов производится расчет температуры окружающего воздуха в канале с учетом характеристик канала и температуры грунта.

В итоге, падение температуры теплоносителя на отдельном участке трубопровода будет определяться так:

$$t_{\tau i} = t_{o i} + (t_{\tau i-1} - t_{o i}) \cdot e^{-\frac{K_{li} \cdot l_i}{G_i \cdot c_i}},$$

где $t_{\tau i}$ и $t_{\tau i-1}$ – температуры теплоносителя на выходе из текущего участка и на выходе из предыдущего участка; $t_{o i}$ – температура окружающего воздуха на текущем участке; G_i и c_i – расход и теплоемкость теплоносителя на участке; l_i – длина участка с одинаковым типом прокладки, типом изоляции и ее фактическим состоянием; K_{li} – линейный коэффициент теплопередачи на участке с учетом фактического состояния изоляции.

Наибольшую трудность представляет определение коэффициента K_{li} . Для его расчета необходимо обследование трубопроводов с проведением измерений и далее, если необходимо, – расчет двумерного или трехмерного температурного состояния слоя изоляции.

В итоге всего расчета определяется количество теплоты, отведенной от сжимаемого воздуха, расход воды через сеть и аппарат, сопротивление аппарата и сети, напор, развиваемый насосом, мощность, которую потребляет электродвигатель с учетом коэффициента нагрузки, количество теплоты, отпущенной потребителю и утерянной в окружающую среду при ее транспортировании.

В работе рассмотрена система промежуточного охлаждения и утилизации теплоты от двухступенчатого компрессора (см. упрощенную схему на рис.1) с исходными параметрами, указанными на рисунке.

В системе используется сетевой насос с напорной характеристикой с учетом дополнительных потерь и зависимостью КПД от расхода [5]. К насо-

су подключен электродвигатель номинальной мощностью 100 кВт с постоянной частотой вращения 2950 об/мин. В расчетах учитывается зависи-

мость КПД электродвигателя от степени его нагрузки.

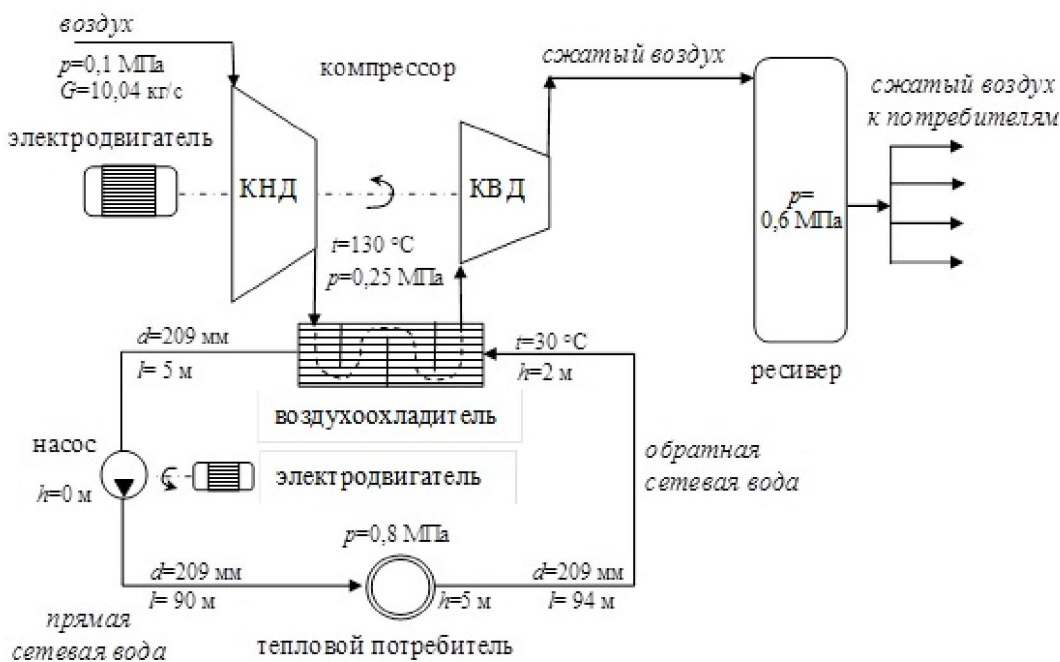


Рис. 1. Система утилизации и отпуска теплоты:

G – расход; p – давление; t – температура; l – длина; h – высота; d – диаметр

Так как процесс загрязнения носит преимущественно случайный характер, то для его анализа использована имитационная модель [6] с рассмотрением двух крайних случаев:

- нижние ряды труб полностью заглушены, а верхние – чистые;
- равномерное заглушение по каждому ряду труб.

Предельный случай этих вариантов – максимальное заглушение, при котором нижние ряды полностью заглушены, а верхние – на 95% и более. Для выявления зависимости от неравномерности заглушения на эффективность и ресурс аппарата, генерируется распределение случайных величин, характеризующих загрязнение и влияющих на распределение расхода воды в каждом ряду труб: сужение диаметра на входе, длина загрязненного участка, количество полностью заглушенных труб в каждом ряду.

Анализ результатов показал, что изменение искомых параметров сильно зависит практически от одной величины φ , которая представляет собой отношение чистой площади (исходная площадь за вычетом площади полностью заглушенных труб) к исходной площади поверхности. Результаты зави-

симости мощности, потребляемой электродвигателем, расхода воды в сети, теплоты, отведенной от компрессора, и температуры воздуха на выходе из теплообменника приведены на рис. 2, 3.

Как видно из результатов анализа, неравномерность распределения загрязнений по рядам труб слабо влияет на характеристики системы. Эффективность при полностью равномерном заглушении несколько выше, чем при полном заглушении только нижних рядов. Случайные точки, полученные методом имитационного моделирования распределения параметров загрязнения поверхности, лежат между этими кривыми. При заглушении до 80% поверхности расход сетевой воды и мощность привода насоса остаются практически неизменными, хотя теплота, отведенная от воздуха уменьшится практически до 2 раз. При заглушении более 80% поверхности начинает сильно падать расход сетевой воды ввиду роста сопротивления аппарата. Таким образом, при заглушении 80% поверхности и более теплообменник полностью исчерпывает свой ресурс. При неработающем воздухоохладителе мощность, которую потребляет компрессор, увеличивается на 15%.

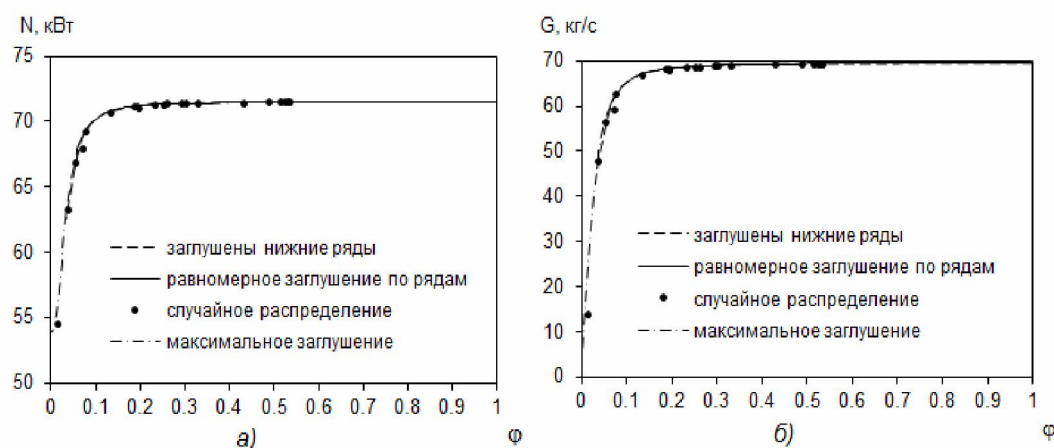


Рис. 2. Гидравлические характеристики системы:
а) мощность привода насоса; б) расход сетевой воды

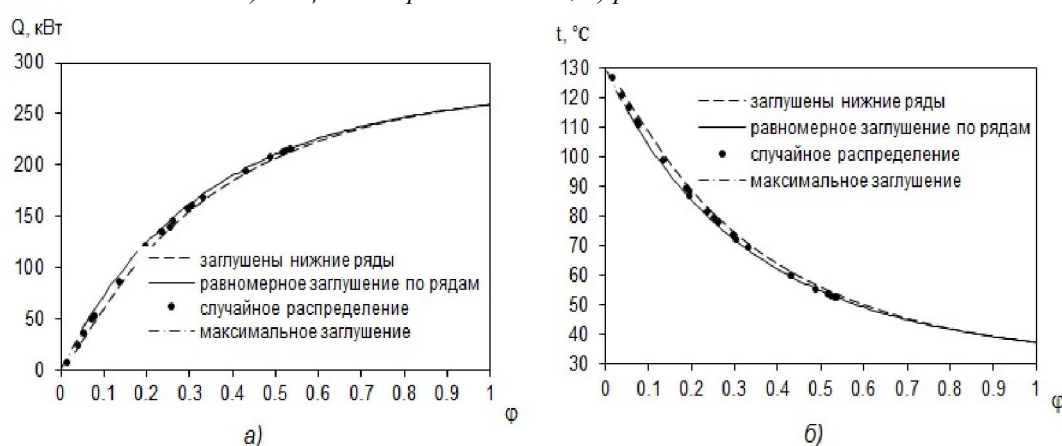


Рис. 3. Тепловые характеристики системы:
а) теплота, отпущенная в сеть; б) температура воздуха после воздухоохладителя

Выводы. Разработанные методы и средства позволяют получить зависимость характеристик системы промежуточного охлаждения компрессора от загрязнения поверхности воздухоохладителя. Такие характеристики могут показать эффективность работы всей системы охлаждения. При замере параметров в контрольных точках системы во время ее обследования или энергетического аудита можно, используя результаты расчета, оценить эффективность системы утилизации и отпуска теплоты от компрессорной установки. В дальнейшем подобные расчеты целесообразно проводить в рамках анализа совместного влияния систем воздухообеспечения и утилизации и отпуска теплоты от компрессорных установок с учетом их эксплуатационных характеристик.

Список литературы:

1. Стационарные газотурбинные установки: справочник / [Л. В. Арсеньев, В. Г. Тырышкин, И. А. Богов и др.] ; под ред. Л. В. Арсеньева и В. Г. Тырышкина. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. – 543 с. 2. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Идельчик И. Е. – М. : Машиностроение, 1975. – 559 с. 3. Берж К. Теория графов и ее применение / Берж К. – М.

: ИЛ, 1962. – 319 с. 4. Ганжа А. М. Компьютерное моделирование процессов у складних теплообмінних апаратах / А. М. Ганжа, Н. А. Марченко // Вестник Национального технического университета "ХПИ". – 2010. – № 9. – С. 113–120. 5. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей: справочник / [В. И. Манюк, Я. И. Каплинский, Э. Б. Хиж и др.]. – М. : Стройиздат, 1988 – 432 с. 6. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование / В. Кельтон, А. Лоу. – СПб. : Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2004. – 847 с.

Bibliography (transliterated):

1. Statsionarnyye gazoturbinnyye ustanovki: spravochnik / [L. V. Arsenyev, V. G. Tyryshkin, I. A. Bogov i dr.] ; pod red. L. V. Arsenyeva i V. G. Tyryshkina. – L. : Mashinostroenie. Leningr. otd-nie, 1989. – 543 s. 2. Idelchik I. E. Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam / Idelchik I. E. – M. : Mashinostroenie, 1975. – 559 s. 3. Berzh K. Teoriya grafov i ee primeneniye / Berzh K. – M. : IL, 1962. – 319 s. 4. Ganzha A. M. Komp'yuternye modelyuvannya protsesiv u skladnih teploobminnih aparatah / A. M. Ganzha, N. A. Marchenko // Vestnik Natsionalnogo tehniceskogo universiteta "HPI". – 2010. – № 9. – S. 113–120. 5. Naladka i ekspluatatsiya vodyanyih teplovyih setey: spravochnik / [V. I. Manyuk, Ya. I. Kaplinskiy, E. B. Hizh i dr.]. – M. : Stroyizdat, 1988 – 432 s. 6. Kelton V., Lou A. Imitatsionnoye modelirovaniye / V. Kelton, A. Lou. – SPb. : Piter; Kiev: Izdatelskaya gruppya BHV, 2004. – 847 s.