

про те, що постійно змінюються рівень завантаженості каналів передачі даних та потреби користувачів у використанні інформаційних ресурсів розподілених між серверами, а відповідно і якість обслуговування користувачів, з урахуванням того, що інформаційні ресурси розподілені між серверами статично. Такий висновок підтверджує необхідність проведення динамічного перерозподілу файлів між серверами з метою підвищення якості обслуговування користувачів.

Висновки. Спираючись на результати усіх вимірювань, цілком логічно та зручно обрати величину календарного терміну для дослідження роботи файлових сервісів по обслуговуванню запитів користувачів рівню тридцять діб.

Для більш адекватного дослідження роботи файлових сервісів по обслуговуванню запитів користувачів цілком доцільно збирати статистичні дані не за один, а за два календарних терміни. Такий підхід дає можливість оцінки динаміки змін потреб користувачів та стабільності параметрів, які контролюються.

Список літератури

1. Коваль М.В. Розробка критеріїв оцінки ефективності розподілу файлів серед вузлів комп'ютерної мережі // Вісник Криворізького технічного університету. - Кривий Ріг. - Вип. 27, 2011. - С. 215-221.
2. Коваль М.В. Розробка моделі оперативного розподілу файлів серед вузлів комп'ютерної мережі // Вісник Криворізького технічного університету. - Кривий Ріг. - Вип. 28, 2011. - С. 177-182.
3. Коваль М.В. Аналіз роботи файлового сервісу побудованого за децентралізованою схемою // Перспективні методи та технічні засоби підвищення ефективності енергоємних установок та технологічних комплексів гірничо-металургійної промисловості: Матеріали VI Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених з проблем енергетики. - Кривий Ріг, 2010. - С. 303-305.

Рукопис подано до редакції 01.09.11

УДК 621.1.016

О.В. ЗАМЬЦКИЙ, д-р техн. наук, доц., А.Ю., КРИВЕНКО, канд. техн. наук, доц.,
ХОЗИНА Е.О., ассистент, ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

АНАЛИЗ МЕТОДОВ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА СЖАТОГО ВОЗДУХА

Проведен анализ эффективности теплоутилизаторов различного типа, входящих в системы утилизации теплоты отходящих газов энергетических установок. Рассмотрены актуальные методы утилизации тепла сжатого воздуха современных компрессоров.

Проблема и ее связь с практическими задачами. В настоящее время очень остро стоит проблема истощения запасов традиционных топливных ресурсов, загрязнения окружающей среды, а следовательно, вопросам энергосбережения уделяется все более пристальное внимание, все активнее изыскиваются различные возможности снижения энергозатрат, разработки и внедрения энергосберегающих технологий, рассматриваются и реализуются, в том числе и с привлечением значительных средств, разнообразные схемы, призванные сократить потребление энергии.

Так, например, на существующем этапе развития и модернизации теплоэнергетики Украины рассматривается необходимость разработки и внедрения эффективных схем утилизации тепла отходящих газов и разного рода охлаждающих жидкостей энергетических установок с целью его последующего использования. Конечно, разработка таких схем возможна только на основе новых современных методических подходов к анализу эффективности и оптимальному проектированию теплоутилизационного оборудования.

Не исключением, использование бросового (или отборного) тепла теплотехнических установок. На многих промышленных предприятиях одними из наиболее мощных источников такого тепла являются воздушные компрессорные станции, многие из которых оснащены высокопроизводительными турбокомпрессорами. В применяемых сегодня типовых системах охлаждения турбокомпрессоров в большинстве случаев тепло, воспринимаемое охлаждающей водой, в огромных количествах рассеивается в окружающую среду. В итоге происходит тепловое загрязнение окружающей среды, непродуктивно расходуются средства на создание таких не дешевых систем, и главное, бесцельно тратится энергия, которую параллельно, зачастую для покрытия нужд того же потребителя, вырабатывают генерирующие мощности. Исследование вопроса утилизации теплоты сжатия компрессорных установок обусловлено и рядом таких объективных факторов, как большой парк компрессорных установок и значительные затраты (до 40-

45 %) на потребляемую предприятиями электроэнергию; существенные затраты на теплоснабжение и необходимость поиска путей комплексного использования теплоты сжатых газов.

Анализ исследований и публикаций. Эффективность систем утилизации теплоты в настоящее время оценивается целым рядом критериев, которые предполагают, главным образом, один из следующих подходов к их построению: термодинамический, эксергетический, тепло-технический, технологический, экономический.

При производстве сжатого воздуха большое количество энергии теряется при охлаждении воздуха в промежуточных и конечных охладителях с теплом циркуляционной воды. Количественная оценка этих потерь может быть получена проведением эксергетического анализа пневматических установок. Разработке эксергетического метода оценки совершенства тепловых процессов посвящены работы В.М. Бродянского, Г.Д. Бэра, В.А. Кирилина, В.В. Сычева, А.Е. Шейдлина, Е.Я. Соколова [1-4].

Совершенство тепловых процессов в компрессорных установках при помощи эксергетического метода исследовалось в работах В.М. Мурзина, Ю.А. Цейтлина, В. И. Дегтярева, Ю.П. Квятковской, А.А. Нестеренко, В.Ф. Линникова [5-7].

Так, по данным В.М. Мурзина и Ю.А. Цейтлина, опубликованным в работе [5], потери эксергии в первом промежуточном воздухоохладителе составляют 4,7 %, во втором - 5,5 %, в конечном воздухоохладителе 5,0 %, что в сумме составляет 15,2 %.

По данным В.И. Дегтярева [6] суммарные потери эксергии от охлаждения воздуха в поршневых компрессорах составляют 15,4 %.

По данным Ю.П. Квятковской, А.А. Нестеренко, В.Ф. Линникова [7], полученным при производственных испытаниях турбокомпрессора К-500-61-5, потери эксергии в первом промежуточном воздухоохладителе составляют 2,5 %, во втором - 6,25 %, в конечном воздухоохладителе 10,31 %, а суммарные потери от охлаждения воздуха составляют 19,06 %.

Таким образом, в среднем, в зависимости от режима работы, с теплом охлаждающей воды теряется 15-20 % подводимой к турбокомпрессору энергии.

В статье В.Б. Скрыпникова [8] дана оценка эффективности энергосбережения с анализом коэффициентов использования теплоты и энергетических КПД. Предложен термодинамический коэффициент эффективности работы системы охлаждения компрессорной установки. По возрастанию значения величины данного коэффициента предложено выделить три группы утилизации тепла сжатого воздуха:

прямая утилизация тепла при непосредственном нагреве теплоносителя. Область применения - системы теплоснабжения (вентиляция, горячее водоснабжения) и технологические системы;

системы с трансформаторами теплоты. Основной элемент этой группы - энергетические циклы с газовой турбиной, холодильные машины, абсорбционные холодильные машины;

теплонаносные установки с системами утилизации теплоты сжатого воздуха.

Повышению эффективности производства пневматической энергии путем прямого использования тепла, отбираемого при промежуточном и конечном охлаждении сжатого воздуха, посвящены работы В.Б. Скрыпникова, В.И. Дегтярева, Ф.И. Федорова, В.П. Парфенова, И.А. Январева, Г.П. Герасименко [9-14], и др.

Прямое использование тепла циркуляционной воды затруднено, вследствие ее невысокой температуры, как правило, обычно ее температура не превышает 35°C. Поэтому, необходима замена существующих воздухоохладителей или их доработка, либо переход к воздушному охлаждению.

Схема утилизации с двухсекционным отбором теплоты разработана В.Б. Скрыпниковым. Предложено разделить секции промежуточных воздухоохладителей турбокомпрессора. Суть данного метода заключается в отводе первой секцией тепла с более высоким потенциалом для последующего использования в системе отопления и горячего водоснабжения, во второй секции производится охлаждение сжатого воздуха до необходимого уровня. Для реализации данного метода предложено либо заменить воздухоохладители, либо переоборудовать существующие. Недостатком такого способа является сезонность использования тепла.

В.И. Дегтяревым и Ю.И. Федоровым разработан принципиально новый воздухоохладитель-утилизатор [10, 11], который решает задачу повышения потенциала отбираемой теплоты, (охлаждающая вода нагревается на 50-60 °С). Достигается это в результате использования эффекта сверхтеплопроводимости тепловых труб. Наибольшая эффективность охлаждения сжато-

го воздуха и утилизации теплоты достигается наличием у воздухоохладителя двух зон конденсации: тепловой и воздушной. Такая конструкция применена в качестве конечного воздухоохладителя турбокомпрессора К-500-61-5 на шахте «Красный профинтерн». Теплота охлаждающего воздуха использовалась для обогрева ствола, горячая вода для бытовых нужд. В зимний период воздухоохладитель работает в основном с воздушной зоной, летом - с водяной.

Оценка тепловой эффективности при утилизации тепла при охлаждении сжатого воздуха проведена в работах В.П. Парфенова, И.А. Янтарева [12, 13], а также В.Б. Скрыпникова [9].

В работе В.П. Парфенова [12] проведен анализ влияния охлаждения на термодинамическую эффективность многоступенчатой компрессорной установки. Метод расчета конечных температур теплообменивающихся сред при комбинированном охлаждении сжатых газов в компрессорных установках приведен в статье В.П. Парфенова и И.А. Январева [13].

Применение метода прямой утилизации тепла зависит от необходимости наличия потребителя данной тепловой энергии в непосредственной близости от компрессорной станции. Это объясняется небольшим энергетическим потенциалом данного вторичного энергоресурса и, как следствие, невозможностью его транспортировки на большие расстояния.

Изложение материала и результаты. В работе Г.П. Герасименко [14] предложено разделить секции двухсекционных промежуточных воздухоохладителей турбокомпрессора К500-61-1. Тепло от горячего воздуха, поступающего в первую секцию - использовать в бромистолитиевых абсорбционных холодильных агрегатах АБХА-2500, работающих при довольно низких температурах теплоносителя (80 °С, и более). Вторые секции воздухоохладителей охлаждаются традиционным способом. Тепловой режим турбокомпрессора практически не изменяется. Экономия мощности в системе охлаждения воздуха за счет утилизации тепла, отбираемого от сжатого воздуха в одном турбокомпрессоре, составит около 190 кВт, т.е. с учетом этого обстоятельства КПД компрессорной установки увеличится примерно на 6,5%.

Вариант применения тепловых насосов для использования низкопотенциальной теплоты оборотной воды поршневых компрессоров рассматривается в работах [15,16]. Для этого, в 1990 г. в здании компрессорной станции шахты «Ключевская» ПО «Кизелуголь» были смонтированы две холодильные установки ПХУ-50, предназначенные для работы в режиме теплового насоса. Градирня из системы охлаждения исключена. Нагретая в конденсаторе вода подавалась в систему низкотемпературного отопления для обогрева промышленных зданий и объектов социально-культурного назначения. Разность между расходом топлива, потребляемого котельной, и топлива, необходимого для выработки электроэнергии, затрачиваемой на привод теплонасосной установки составила 52-68 %.

В работе [15], наряду с применением тепловых насосов, предложено промежуточное охлаждение сжатого воздуха проводить до экономически оправданного уровня, разработана методика расчета оптимальной температуры на входе в цилиндр высокого давления поршневого компрессора, а также схема системы охлаждения с тепловым насосом и автоматическим поддержанием оптимальной температуры воздуха.

Схема утилизации тепла сжатого воздуха с тепловыми насосами и автоматическим регулированием разработана также в работе [17].

Теплонасосные установки (ТНУ) используют естественную возобновляемую низкопотенциальную тепловую энергию окружающей среды (воды, воздуха, грунта) и повышают потенциал основного теплоносителя до более высокого уровня, затрачивая при этом в несколько раз меньше первичной энергии или органического топлива. Теплонасосные установки работают по термодинамическому циклу Карно, в котором рабочей жидкостью служат низкотемпературные жидкости. Перенос теплоты от источника низкого потенциала на более высокий температурный уровень осуществляется подводом механической энергии в компрессоре (парокомпрессионные ТНУ) или дополнительным подводом теплоты (в абсорбционных ТНУ). В компрессионных установках отбор низкотемпературного тепла осуществляется специальным агентом, а повышение потенциала тепла - путем механического сжатия его в компрессоре. После охлаждения рабочего агента (отдачи тепла потребителю) для повторения цикла производится его расширение (дросселирование), при котором теплосодержание рабочего агента снижается ниже параметров отбираемого низкотемпературного тепла.

Применение ТНУ в системах теплоснабжения - одно из важнейших пересечений техники низких температур с теплоэнергетикой, что приводит к энергосбережению и защите окружающей среды за счет сокращения выбросов CO₂ и NO_x в атмосферу. Применение ТНУ весьма пер-

спективно в комбинированных системах теплоснабжения и позволяет оптимизировать параметры сопрягаемых систем, а также достигать наиболее высоких экономических показателей.

Тепловые насосы парокомпрессорного типа в промышленных, экономически развитых странах используются достаточно широко и доказали свою энергетическую и экологическую эффективность. Это единственные устройства, которые осуществляют процесс переноса теплоты с низкотемпературного уровня на более высокий температурный уровень потребителя, вовлекая в полезный оборот неиспользуемую природную и техногенную теплоту.

Применение теплонасосной технологии утилизации тепла, отводимого от сжатого воздуха в компрессорных установках, позволяет почти в 2 раза снизить стоимость его выработки, которая уменьшается при увеличении температуры охлаждающей воды. Так, например, при работе турбокомпрессора К-250-61-5 можно утилизировать 1400-1550 кВт тепла и получить прибыль в размере около 3100 тыс. грн/год [18].

В то же время, применение методов с трансформаторами теплоты и теплонасосными установками требует больших капитальных затрат из-за высокой стоимости соответствующего оборудования, срок окупаемости, при этом, будет значительным из-за низкого энергетического потенциала данного вторичного энергоресурса.

В процессе сжатия большая часть затраченной энергии преобразуется в тепло, при этом основная часть тепла рассеивается через масляную систему. При установке дополнительного блока рекуперации энергии 70 % потребленной энергии может быть возвращено в виде горячей воды с температурой 80 °С. При использовании блока рекуперации энергии общая стоимость компрессорной системы может быть уменьшена на 40 %.

Необходимым условием для применения данной системы является наличие постоянного потребителя горячей воды. Система работает особенно эффективно, если она позволяет покрыть не более 30-50 % потребности в горячей воде.

Не стоит забывать, что тепло, получаемое в результате работы компрессора - это побочный продукт. При остановках компрессора, при снижении потребления сжатого воздуха соответственно снижается и выработка тепла. Поэтому даже если тепла от компрессора достаточно для удовлетворения 100 % потребностей в горячей воде, не стоит отказываться от основного источника тепла. Кроме того, возможен более простой способ использования тепла от компрессора. При установке компрессора с воздушным охлаждением можно использовать горячий воздух контура охлаждения для отопления соседних помещений. В этом случае горячий воздух в летнее время выбрасывается на улицу, а в холодное - в отапливаемые помещения. На практике такой тип установки компрессоров можно увидеть на Заводе порошковой металлургии им. Войкова, где два компрессора с установленной мощностью 160 кВт каждый отапливают цех прессов.

Производя сжатие воздуха, компрессор выделяет тепло. С уменьшением объема воздуха происходит концентрация тепловой энергии, а избыток тепла выводится из компрессора до попадания воздуха в трубопроводную систему. Для отвода нужного количества избыточного тепла в каждой установке по производству сжатого воздуха необходимо обеспечивать охлаждение. Охлаждение осуществляется либо наружным воздухом, либо водой из городской водопроводной сети либо технической водой, движущейся по открытой или замкнутой системе [19].

Во многих установках, производящих сжатый воздух, возможность сбережения энергии путем ее рекуперации значительна, но зачастую не используется. В большинстве отраслей промышленности расходы на энергию в цене сжатого воздуха составляют практически 80%.

В крупногабаритных безмасляных винтовых компрессорах можно рекуперировать до 94% поставляемой компрессором энергии в виде горячей воды с температурой 90°С. Целесообразность рекуперации очевидна, а мероприятия по сбережению энергии характеризуются быстрой экономической отдачей.

Предположим, что компрессорная централь на большом предприятии потребляет 250 кВт в течение 8000 ч/год, что соответствует 2 млн кВт·ч/год. Отсюда следует, что весьма рационально рекуперировать это тепло в виде горячей воды или горячего воздуха.

Срок оправдания затрат на рекуперацию энергии обычно составляет не более 1-3 лет. Кроме того, рекуперация энергии с помощью замкнутой системы охлаждения повышает надежность и увеличивает срок службы компрессора, за счет улучшения условий эксплуатации компрессора - поддержанию в компрессоре постоянной температуры и использованию большого количества охлаждающей

воды. В странах Северной Европы, самых передовых странах в области рекуперации энергии, уже давно используется горячая вода, поступающая от компрессоров.

В настоящее время большинство компрессоров позволяют подключать стандартное оборудование для рекуперации энергии.

Практически вся энергия, поставляемая в компрессорную установку, преобразуется в тепло. Чем больше энергии можно рекуперировать и использовать в других процессах, тем выше эффективность системы.

Чем выше температура воды, отводимой от компрессора, тем больше степень рекуперации. Охлаждающая вода температурой:

30-50 °C может использоваться для предварительного нагрева водопроводной воды, технической воды, подаваемого воздуха;

40-60 °C - для горячей водопроводной воды;

60-90 °C - для обогрева зданий посредством параллельных линий и нагрева обратной воды котла-подогревателя.

Во многих случаях можно рекуперировать более 90 % энергии при условии, что охлаждение компрессорной установки выполнено тщательно. Решающими факторами в этом случае являются работа системы охлаждения, расстояние до места потребления тепла, степень и продолжительность потребности в тепловой энергии.

Существует также возможность координированной рекуперации энергии, поступающей из нескольких технологических процессов.

Однако, при наличии довольно широких возможностей утилизации, причин невнимания к источнику энергии в виде сбросного тепла разнообразных систем охлаждения достаточно много [20]. При этом еще недавно основными были объективные причины – чрезвычайно большие массо-габаритные характеристики первичных средств съема тепла, т.е. теплообменников, и их, в значительной мере обусловленная этим, высокая стоимость и сложность компоновки на объекте. Кроме того, сдерживающим фактором являлась дороговизна тепловых насосов, призванных превратить бросовое низкопотенциальное тепло, повысив его температурный уровень, в продукт, подлежащий дальнейшему использованию. С сожалением следует отметить, что на сегодня, несмотря на то, что среди этих причин уже практически нет объективных, процесс энергосбережения путем повторного использования рассматриваемого тепла остается на точке замерзания. Сейчас большинство причин не достаточно активного использования этих вторичных ресурсов лежит уже в субъективной плоскости. Это как косность мышления, так и отсутствие знаний о современных технических устройствах, способных эффективно решать такие задачи. Отсутствие в прежние годы эффективных теплопередающих аппаратов, особенно для вязких жидкостей, наряду с отсутствием эффективных тепловых насосов объективно препятствовало энергосбережению путем утилизации сбросного тепла. На сегодня такие устройства существуют и рассмотрению таковых посвящаются многие настоящие научные исследования.

Выводы. Один из путей улучшения технико-экономических показателей оборудования - применение эффективных методов энергосбережения. Современные технологии, основанные на снижении энергетических потерь, присущих действующим теплоэнергетическим установкам, могут давать большую экономию, чем другие технические решения, направленные на повышение эффективности теплотехнических процессов. Энергосбережение и оптимизация систем производства и распределения тепловой и электрической энергии, корректировка энергетических и водных балансов позволяют улучшить перспективы развития теплоэнергетики и повысить технико-экономические показатели.

Список литературы

1. **Бродянский В. М.** Эксергетический метод термодинамического анализа. – М.: Энергия, 1973. – 296 с.
2. **Бэр Г. Д.** Техническая термодинамика: Пер. с нем. / Под ред. **В. М. Бродянского, Г. Н. Костенко.** – М.: Мир, 1977. – 518 с.
3. **Кириллин В. А., Сычев В. В., Шейдлин А. Е.** Техническая термодинамика. – М.: Наука, 1979. – 445 с.
4. **Соколов Е. Я., Бродянский В. М.** Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения. – М.: Энергоиздат, 1981. – 315 с.
5. **Цейтлин Ю. А., Мурзин В. А.** Пневматические установки шахт. – М.: Недра, 1985. – 352 с.
6. **Дегтярев В. И.** Эксергетический анализ специфичных термодинамических процессов пневматических установок горных предприятий // Изв. вузов. Энергетика. – 1987. – № 3. – С. 65–70.
7. **Линников В. Ф., Квятковская Ю. П., Нестеренко А. А.** Анализ работоспособности компрессорных установок горнорудных предприятий // Изв. вузов. Горный журнал. – 1975. – № 10. – С. 71–78.
8. **Скрыпник В. Б.** Проблематика проведения мероприятий по энергоресурсосбережению в компрессорных установках // Вісн. Придніпровськ. Держ. Академ. Будівн. та Архітект. – 2001. – № 11. – С. 55–58.

9. **Скрыпников В. Б.** Технично-экономическое обоснование энергосберегающей технологии производства сжатого воздуха // Вісн. Придніпровськ. Держ. Академ. Будівн. та Архітект.–2001.–№ 10.–С. 57–61.
10. **Федоров Ю. И., Дегтярев В. И.** Выбор параметров воздухоохладителя-утилизатора на тепловых трубах для центробежных компрессоров //Сб. научн. тр. Разработка эксплуатация и ремонт шахтных стационарных установок.–Донецк: ИГММК им. Федорова.–1990.– С. 242–255.
11. **Дегтярев В. И., Федоров Ю. И.** Утилизация тепла сжатого воздуха турбокомпрессоров // Уголь Украины.–1997.–№ 11.–С. 33–34.
12. **Парфенов В. П.** Анализ влияния охлаждения на термодинамическую эффективность многоступенчатой компрессорной установки//Изв. вузов. Энергетика.–1991.–№ 7.–С. 63–67.
13. **Парфенов В. П., Январев И. А.** Оценка тепловой эффективности теплообменного оборудования при комбинированном охлаждении сжатых газов в компрессорных установках//Изв. вузов. Машиностроение.– 1998.–№ 1–3.–С. 62–67.
14. **Герасименко Г. П.** Комплексное использование пневматической энергии при отработке глубоких месторождений. М.: Недра, 1971.– 178 с.
15. **Носырев Б. А., Рыбин А. А.** Энергосберегающая технология эксплуатации компрессорных установок//Изв. вузов. Горный журнал.–1987.–№ 5.–С. 82–95.
16. **Рыбин А. А.** Энергосбережение и экологические проблемы при эксплуатации шахтных стационарных компрессорных установок // Изв. вузов. Горный журнал.–1996.–№ 7.–С. 107–110.
17. Механизация и автоматизация технологических процессов добычи и переработки руд: Отчет о НИР (промежуточн.)/Криворожск. горн. инст. – Г–7–86; № ГР 01860077843; Инв. № М 112563.–Кривой Рог, 1987.– 82 с.
18. **Самуся В.И., Оксень Ю.И., Радюк М.В.** Оценка эффективности теплонасосной технологии утилизации тепла воздушных турбокомпрессоров // Науковий вісник НГУ.- 2010.- № 6.- С. 78-82.
19. **Андронов Ф.А.** Эффективные системы утилизации тепла с использованием модульных агрегатов воздушного охлаждения // Журнал «Энергослужба предприятия».- 2003.-№ 1.
20. **Барон В.Г.** Утилизация тепла охлаждающих жидкостей – один из важных аспектов энергосбережения / **Барон В.Г.** // СОК.- 2006.- № 12.

Рукопис подано до редакції 01.09.11

УДК 621.317.39

В.Й. ЛОБОВ*, канд. техн. наук, доц., Р.О. ПАСТЕРНАКОВ, магістрант
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

РОЗРОБКА ВІРТУАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ У СЕРЕДОВИЩІ LABVIEW

Розроблено функціональну схему, яка детально показує взаємозв'язки між конструктивними блоками пристрою. Складено модель у програмному середовищі LabVIEW 8.6. Процес вимірювання вологості та її контроль промодельовано з урахуванням особливостей, що можуть виникнути при роботі пристрою за різних умов та відповідно до поставлених завдань регулювання.

Аналіз існуючих пристроїв, їх переваги та недоліки. Пристрої вимірювання вологості необхідні як у сфері загального призначення (басейни, жилі та офісні приміщення, магазини, лікарні), так і у спеціалізованих галузях (текстильна, картонно-паперова промисловість, садівництво, клімат-контроль спеціальних складських приміщень у сільському господарстві, метеорологія, екологічні вимірювання). Відносно вологості повітря можна виміряти прямим або непрямим методами. Вимірювання прямим методом - це використання спеціальних вимірювальних пристроїв, основними з яких у наш час є: LiCl-гігрометри, психрометри, гігрометри інфрачервоного випромінювання, волосяні гігрометри, пружинні гігрометри [1]. LiCl-гігрометри використовуються для неперервного вимірювання вологості в широкому діапазоні температур (-20...+60 °С), мають стійкість до дії агресивного середовища та пилу. Але, разом з тим, вони мають достатньо велику інерційність при вимірюванні (тривалість встановлення показів досягає декількох хвилин). Психрометри мають широке застосування у багатьох сферах господарства. Недоліками їх є неможливість використання у системах автоматичного контролю (дискретність зняття показів психрометра дасть похибку вимірювання, яка може сягати 20 %). Гігрометри інфрачервоного випромінювання є надзвичайно точними та в них передбачено цифровий вихід у систему регулювання. Втім ці пристрої мають високочутливий газоаналізатор, який в наш час має дуже високу вартість і тому використання даних пристроїв є обмеженим. Волосяний та пружинний гігрометри є найпростішими пристроями вимірювання вологості з похибкою вимірювання до 5 % та неможливістю підключення у систему регулювання. Непрямий метод базується на вимірюванні вологості за допомогою датчика, що має високу точність вимірюван-

* © Лобов В.Й., Пастернаков Р.О., 2012