

УДК 62-83-52:621.5.004.18(075.8)

РЕЖИМЫ РАБОТЫ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЕНТИЛЯТОРНОЙ УСТАНОВКИ

А. А. Сердюк

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Украина. E-mail: serduk@link.pl.ua

Обоснована необходимость изучения режимов функционирования вентиляторов, которыми оснащаются промышленные установки, на мелкомасштабных электромеханических моделях, позволяющих учитывать специфику аэродинамических процессов и возможность реализации различных методов регулирования параметров. Приведена структура физической модели вентиляторной установки. Выполнен анализ задач, который позволяет реализовать структуру и оборудование физической модели вентиляторной установки. Приведены экспериментальные кривые изменения давления, производительности, потребляемой и полезной (аэродинамической) мощности, коэффициента полезного действия вентилятора, генерируемой мощности и частоты вращения системы турбина-генератор при регулировании производительности: дросселированием, направляющим аппаратом, частотой вращения рабочего колеса вентилятора, активным воздействием на коммуникации.

Ключевые слова: вентилятор, регулирование, электропривод.

РЕЖИМИ РОБОТИ ФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ ВЕНТИЛЯТОРНОЇ УСТАНОВКИ

О. О. Сердюк

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Украина. E-mail: serduk@link.pl.ua

Обгрунтована необхідність вивчення режимів функціонування вентиляторів, якими оснащуються промислові установки, на дрібномасштабних електромеханічних моделях, що дозволяють урахувати специфіку аеродинамічних процесів та мають можливість реалізації різних методів регулювання параметрів. Наведена структура фізичної моделі вентиляторної установки. Виконано аналіз задач, який дозволяє реалізувати структуру та устаткування фізичної моделі вентиляторної установки. Наведено експериментальні криві зміни тиску, продуктивності, споживаної та корисної (аеродинамічної) потужності, коефіцієнта корисної дії вентилятора, потужності, що генерується, та частоти обертання системи турбіна-генератор при регулюванні продуктивності: дроселюванням, напрямним апаратом, частотою обертання робочого колеса вентилятора, активним впливом на комунікації.

Ключевые слова: вентилятор, регулювання, електропривод.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Вопрос энергосбережения и рационального управления технологическими установками является одним из приоритетных направлений в Украине.

Вентиляторные установки (ВУ) являются неотъемной частью многих технологических промышленных и энергетических комплексов. Так установки, оснащенные вентиляторами, широко применяются для проветривания шахтных выработок, судовых машинно-котельных отделений, производственных, служебных и жилых помещений; пневматической транспортировки и сушки зерна, и т.п. [1–10].

В качестве вентиляторов в большинстве случаев используются турбомеханизмы центробежного или осевого типа, которые в основном оснащены нерегулируемым электроприводом (ЭП), выполненным на базе асинхронных или синхронных электродвигателей [1–4].

Основными характеристиками вентиляторов являются кривые, отражающие изменение потребляемой мощности, полного и статического напора (давления) и коэффициента полезного действия от производительности турбомеханизма.

Характеристики вентиляторов в основном зависят от аэродинамических свойств их проточной части, отношения внешнего диаметра лопастей к внутреннему, выходного угла установки лопастей в рабочем колесе и формы их профиля. На рис. 1 показаны три вида напорно-расходных характеристик вентиляторов. Особого внимания заслуживает характеристика седлообразной формы (рис. 1, кривая

1), так как работа вентиляторов с такой характеристикой давления на сеть в ряде случаев является неустойчивой и, поэтому, нежелательна [1].

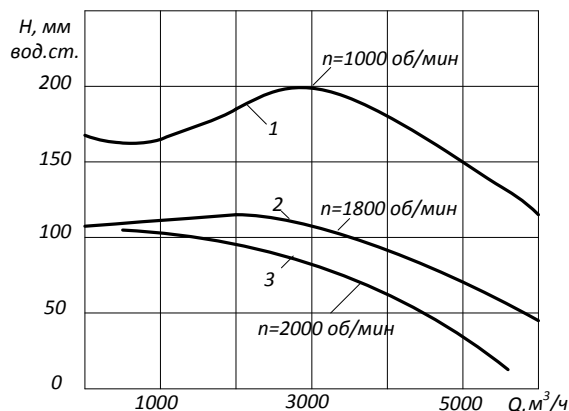


Рисунок 1 – Характеристики вентиляторів:
1 – вентилятор СТД; 2 – вентилятор Ц6-46;
3 – вентилятор ВРН

На ефективність роботи ВУ суттєвим образом впливає спосіб регулювання продуктивності. Відомо, що регулювання продуктивності ВУ може здійснюватися впливом на турбомеханізм путем установки направляючого апарата, дроселюванням потоку жидкості задвижкой (шибером), зміною частоти обертання робочого колеса вентилятора, впливом на комунікаційну мережу активним регулювальним пристроєм і др. [6–10]. Перші два способи явля-

ються достатньо простими в реалізації, однак енергетически не вигідними в виду наявності непродуцельних втрат потужності і низьких КПД механізму; останні методи являються більш економічними з точки зору енергозбереження, но, в отличие от первых двух, требует значительных капиталовложений, обусловленных стоимостью преобразователя частоты (ПЧ) и инвертора, соответственно.

Для обоснования целесообразности использования той или иной схемы регулирования и разработки рекомендаций о повышении эффективности работы промышленных установок оснащенных вентиляторами необходимо изучение режимов функционирования последних на мелкомасштабных электромеханических моделях, позволяющих учесть специфику аэродинамических процессов и возможность реализации перечисленных выше методов регулирования параметров, а также исследовать динамические режимы ВУ.

Цель работы – анализ характеристик физической модели вентиляторной установки при различных методах регулирования производительности.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Экспериментальное исследование характеристик вентилятора при различных методах регули-

рования производительности выполнено на компьютеризированной физической модели ВУ, разработанной на кафедре «Системы автоматического управления и электропривода» Кременчугского национального университета имени Михаила Остроградского. Функциональная схема физической модели ВУ приведена на рис. 2, где приняты следующие сокращения и обозначения: МПСУ – микропроцессорная система управления; АЦП, ЦАП – аналогово-цифровой и цифро-аналоговый преобразователь, соответственно; ПЧ – преобразователь частоты; АД – асинхронный двигатель; В – вентилятор; Т – турбина; ГПТ – генератор постоянного тока; ОВГ – обмотка возбуждения генератора; УВ – управляемый выпрямитель; Д – электродвигатель; ДС, ДСт – датчик частоты вращения рабочего колеса вентилятора и турбины, соответственно; ДН, ДТ – датчики напряжения и тока, соответственно; НА – направляющий аппарат; СУ, СУз – система управления ПЧ и электродвигателем задвижки; ЭПз – электропривод задвижки; Д1, Q – датчик давления и расхода, соответственно; Z1, Z2 – регулировочные задвижки; SA – переключатель; $U_{АД}$, $I_{АД}$, W, n_B , U_T , I_T , n_T , U_B , I_B – стрелочные приборы.

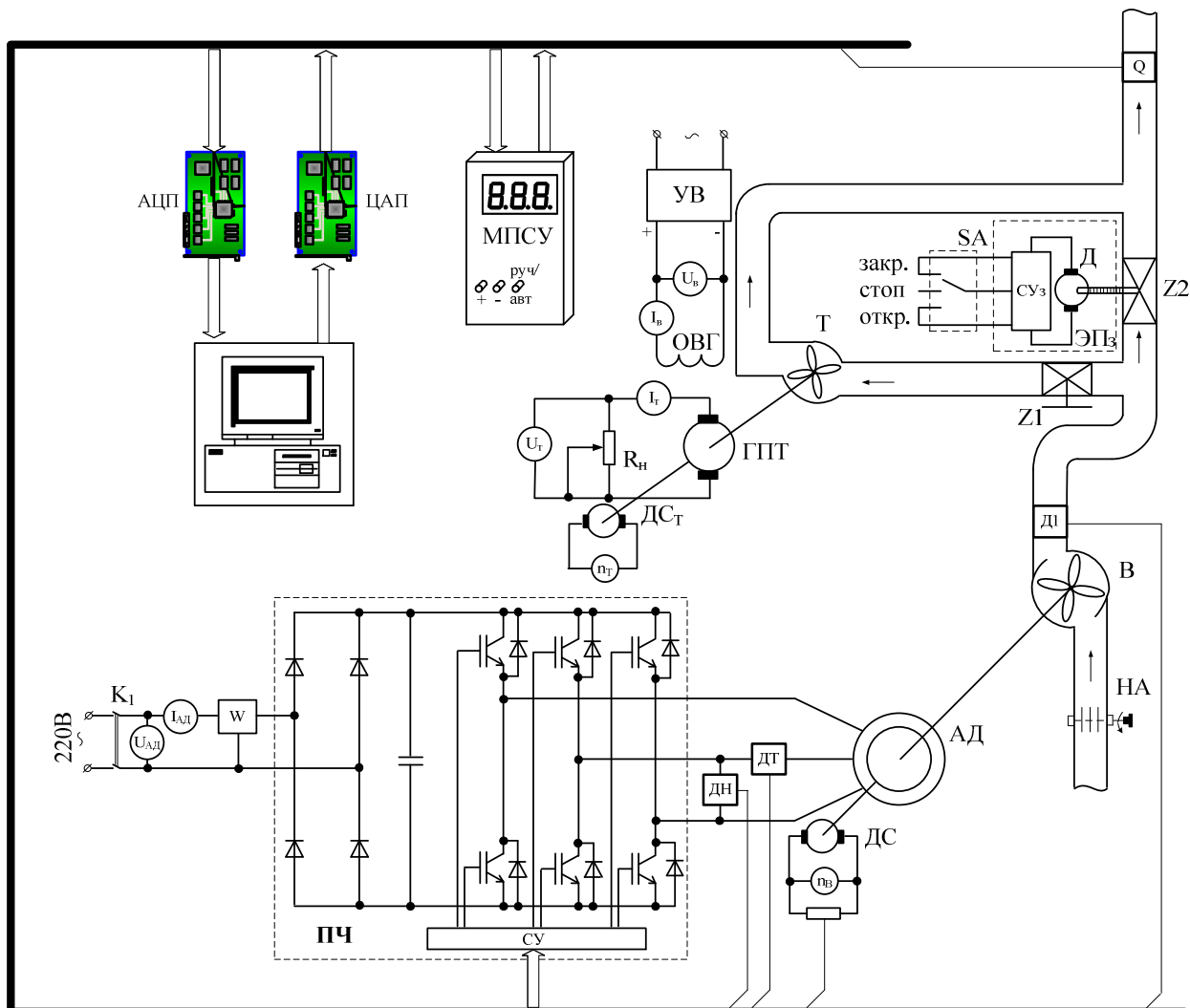


Рисунок 2 – Функциональная схема физической модели ВУ

Физическая модель ВУ включает центробежный вентилятор В, с приводным двигателем АД; задвижки Z1 и Z2, причем последняя приводится в действие посредством системы ЭПз, состоящей из двигателя Д и системы управления им СУз; датчик давления Д1 и расхода Q с возможностью аналогового съема данных. Во всасывающем патрубке вентилятора установлен направляющий аппарат НА.

В силовой цепи АД установлен однофазный преобразователь частоты ПЧ с номинальным входным напряжением 220 В. Контроль тока, напряжения и потребляемой мощности системы ПЧ-АД выполняется амперметром $I_{АД}$, вольтметром $U_{АД}$, ваттметром W соответственно. Контроль частоты вращения АД выполняется датчиком скорости ДС. Для контроля мгновенных значений тока и напряжения, которые действуют в цепи АД, физическая модель ВУ оснащена датчиками тока ДТ и напряжения ДН.

В трубопроводной сети установлен турбомеханизм осевого типа, который работает в турбинном режиме и включен параллельно задвижке Z2. На одном валу с турбинным агрегатом установлен генератор постоянного тока (ГПТ) с независимым возбуждением.

Контроль тока и напряжения ГПТ осуществляется амперметром I_T и вольтметром U_T соответственно. Для контроля частоты вращения вала турбины физическая модель ВУ оснащена датчиком скорости ДСт, расположенным на одном валу с ГПТ.

Параллельно якорной цепи генератора включено активное нагрузочное сопротивление R_n . Изменение режима работы генератора осуществляется воздействием на обмотку возбуждения ОВГ с помощью управляемого выпрямителя УВ, установленного в цепи ОВГ. Контроль напряжения и тока возбуждения ГПТ осуществляется вольтметром U_v и амперметром A_v соответственно.

Связь датчиков, осуществляющих измерение технологических, механических и энергетических параметров НК с персональным компьютером, выполнена посредством аналогово-цифрового преобразователя LCard E440-14.

Физическая модель воздухоудки позволяет исследовать энергетическую эффективность работы ВУ, которая работает на реальную аэродинамическую сеть при использовании следующих методов регулирования производительности: задвижкой, установленной на выходе вентилятора; изменением частоты вращения рабочего колеса вентилятора; направляющим аппаратом, установленным на входе турбомеханизма; активным влиянием на коммуникации; комбинированное регулирование производительности.

Для исследования статических режимов работы вентиляторной установки были реализованы различные варианты регулирования технологических параметров на выходе агрегата.

Технологические и энергетические характеристики ВУ для различных способов регулирования производительности приведены на рис. 3.

Анализ характеристик вентилятора (рис. 3, а) напорно-расходные характеристики вентилятора $(p-Q)_v$ и аэродинамической сети $(p-Q)_{net}$, отражающих изменение технологических параметров (давления p и производительности Q) при изменении сопротивления аэродинамической сети показал, что напорно-расходная характеристика $(p-Q)_v$ вентилятора остается неизменной (рис. 3, а). При этом рабочая точка R_1 , соответствующая пересечению характеристики $(p-Q)_v$ вентилятора с характеристикой $(p-Q)_{net}$ аэродинамической сети при полностью открытом дросселирующем органе, перемещается вверх по технологической характеристике $(p-Q)_v$ вентилятора в точку R_4 по мере уменьшения степени открытия заслонки. Это приводит к снижению как потребляемой, так и аэродинамической (полезной) мощности ВУ (рис. 3, а) характеристики $N_{ad}-Q$ и $N_{net}-Q$, соответственно). Анализ кривой $\eta-Q$, отражающей изменение коэффициента полезного действия вентилятора, отображает работу вентиляторного агрегата в ненормальном режиме, что обусловлено несоответствием мощности вентилятора возможному объемному расходу транспортируемого под давлением воздуха.

В рассматриваемом случае регулирование производительности ВУ изменением угла направляющего аппарата, сопровождается увеличением потерь в самом турбомеханизме. Это приводит к веерообразному смещению вниз напорно-расходной характеристики $(p-Q)_v$ вентилятора. При этом рабочая точка перемещается по характеристике $(p-Q)_{net}$ аэродинамической сети из точки β_1 в точку β_3 (рис. 3, б). Потребляемая мощность ВУ незначительно меньше чем при регулировании производительности дросселированием.

Регулирование производительности изменением частоты вращения рабочего колеса вентилятора, как и в предыдущем случае, сопровождается изменением характеристик турбомеханизма $(p-Q)_v$. При этом напорно-расходная характеристика $(p-Q)_v$ вентилятора параллельно смещается вниз при снижении частоты вращения рабочего колеса турбомеханизма и рабочая точка перемещается по характеристике $(p-Q)_{net}$ аэродинамической сети из точки n_1 в точку n_3 (рис. 3, б).

Анализ энергетических кривых $N_{ad}-Q$ (рис. 3) показывает, что потребляемая мощность (кривая $N_{ad}-Q$ рис. 3, в) при регулировании производительности ВУ от Q_{n1} до Q_{n3} изменением частоты вращения в два раза меньше, чем при дросселировании (кривая $N_{ad}-Q$ рис. 3, а).

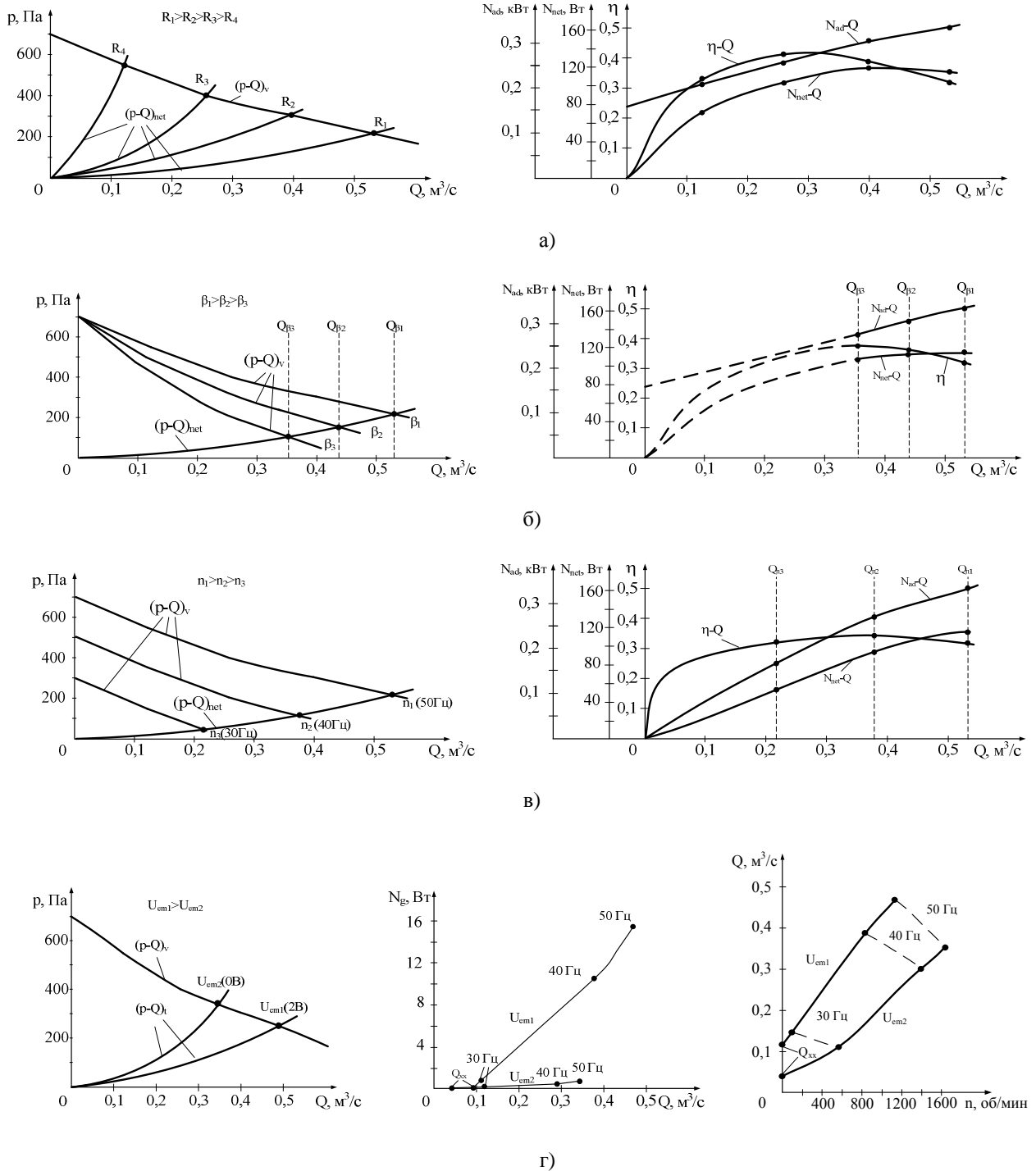


Рисунок 3 – Технологические и энергетические характеристики ВУ при регулировании производительности: а) дроселированием; б) изменением степени открытия направляющего аппарата; в) изменением частоты вращения рабочего колеса вентилятора; г) активным влиянием на коммуникации

Анализ кривых, приведенных на рис. 3, г показал, что напорно-расходные характеристики $(p-Q)_t$ турбины, полученные для разных значений напряжения U_{em} возбуждения генератора при изменении количества потока воздуха проходящего через турбину средствами частотно-регулируемого электропривода вентилятора, представляют собой семейство парабол $(p-Q)_t$, ветви которых направлены вверх. При этом с увеличением $U_{em1} > U_{em2}$ характеристика $(p-Q)_t$ турбины становится положе.

Известно, что при последовательном соединении турбины и трубопровода суммарная характеристика аэросети с турбиной строится сложением подач напорно-расходной характеристики аэросети и собственно напорно-расходной характеристики турбины при одинаковой величине давления (напора) [1].

На рис. 3, г приведены кривые мощности, генерируемой генератором постоянного тока, который находится на одном валу с турбиной, от производительности ВУ. Их анализ показывает, что с уменьшением количества пропускаемого через турбину воздуха величина мощности заметно уменьшается.

Из рис. 3, г видно, что при наличии некоторой величины расхода генерируемая мощность равна нулю. Эта точка соответствует так называемой точке холостого хода Q_{xx} турбины. Величина Q_{xx} изменяется в зависимости от величины напряжения возбуждения генератора постоянного тока, который является нагрузкой для турбины, что объясняется увеличением создаваемого нагрузкой сопротивления трогания a , соответственно, к росту усилия на лопасти турбины для приведения ее во вращение.

Анализ полученных результатов показал, что возможный диапазон регулирования подачи ВУ, реализованный дросселированием и частотой вращения рабочего колеса, изменяется от максимума до нуля. Незначительный диапазон регулирования производительности при использовании активного регулировочного устройства (турбины) и незначительная величина мощности, генерируемой в сеть системой турбина-генератор (рис. 3, г), объясняется недостатками имеющегося в наличии оборудования. Так в качестве турбины в лабораторном комплексе используется вентилятор осевого типа с двигателем постоянного тока мощностью 36 Вт. Кроме того, параметры турбины, как активного регулировочного устройства, выбраны не в соответствии с рекомендациями, изложенными в работах [9, 10].

Возможности стенда также позволяют исследовать динамические режимы работы ВУ используя компьютерный съем и обработку данных с датчиков, фиксирующих измерение мгновенных значений: давления и производительности вентилятора, тока, напряжения и частоты вращения приводного электродвигателя.

ВЫВОДЫ. Выполненный анализ различных схем регулирования параметров ВУ показал, что при изменении подачи, например, в пределах 40 % от номинального значения, величина потребляемой мощности при изменении частоты вращения механизма в два раза ниже, чем при наиболее легко реализуемой, но весьма энергозатратной системе регулирования – дросселировании. При этом потери мощности на дросселирующем органе в рассматриваемом случае составили 54 % от номинальной потребляемой мощности.

Функциональные возможности мелкомасштабной модели ВУ позволяют реализовать исследование:

- статических и динамических характеристик асинхронного двигателя и режимов работы вентиляторной установки при различных способах и законах частотного регулирования;
- энергетических характеристик частотно-регулируемого электропривода вентилятора выполненного на базе преобразователя частоты со скалярным управлением, питающего силовые цепи асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором;
- определить диапазон регулирования частоты вращения вентилятора при различных пределах изменения подачи воздуха;
- выполнить анализ реальных нагрузочных характеристик турбомеханизма и т.п.

Разработанный комплекс позволяет исследовать различные технологические решения регулирования параметров вентиляторной установки и оценивать их технико-экономические показатели. Это позволит выработать рекомендации для обоснования эффективности использования той или иной системы привода вентиляторной установки, а также является базой для построения и исследования замкнутых по технологическому параметру систем автоматического управления.

Разработанный лабораторный комплекс позволяет осуществлять подготовку студентов по специальностям “Электромеханическое оборудование энергоемких производств”, “Энергетический менеджмент”, “Электромеханические системы автоматизации и электропривод”, “Системы управления и автоматизации”, а также предназначен для научно-исследовательских работ магистров и аспирантов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздухоудных установках. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 360 с.
2. Ивановский И.Г. Шахтные вентиляторы. Владивосток: ДВГТУ, 2003. –196 с.
3. Вентилювання приміщень / С.С. Жуковський, О.Т. Возняк, О.М. Довбуш, З.С. Люльчак. – Львів: Львівська політехніка, 2007. – 476 с.
4. Беккер А. Системы вентиляции. – М.: Техносфера «Евроклимат», 2005. – 232 с.
5. Нильсен Т.П. Справочник. Повышение энергоэффективности и модернизация вентиляторных систем. – Киев: «Витал-Пресс», 2001. – 168 с.
6. Экономическая эффективность энергосбережения в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха: Учебное пособие / А.И. Еремкин, Т.И. Королева, Г.В. Данилин и др – М.: Изд. Ассоциации строительных вузов, 2008. – 184 с.
7. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика / В.А. Ананьев, Л.И. Балужева, А.Д. Гальперин – М.: Евроклимат, 2001. – 416 с.
8. Стефанов Е.В. Вентиляция и кондиционирование воздуха. – СПб.: Авок Северо-Запад, 2005. – 399 с.
9. Границы целесообразного использования методов регулирования параметров насосных установок / Т.В. Коренькова, Д.А. Михайличенко, А.А. Сердюк, П.В. Лузан // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Зб. наук. пр. КДПУ. – Вип. 3(26). – Кременчук: КДПУ, 2004. – С. 32–37.
10. Характеристики гидротурбины в системе активного регулирования производительности насосных станций / Т.В. Коренькова, А.Л. Перекрест, Д.А. Михайличенко, А.М. Кравец // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Зб. наук. пр. КДПУ. – Вип. 2(25). – Кременчук: КДПУ, 2004. – С. 21–27.

THE OPERATION MODES OF THE PHYSICAL MODEL OF THE FAN INSTALLATION

A. Serdiuk

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: serduk@link.pl.ua

Purpose. It has been substantiated the necessary of studying the operation modes of the electric fans, by which devices on industrial plants are equipped. This can be done on small electromechanical models, which take into account the specifics of aerodynamic processes and the ability to implement different regulation methods. **Methodology.** The article used the experimental simulation of the Electromechanical modes of the ventilation unit. It were received the static characteristics describing the pressure changes, consumed power, useful power and efficiency from ventilator performance and generated power and rotation frequency of the system "turbine-generator" from volume flow. **Results.** The article shows the structure of the physical model of the electromechanical fan setting. Here has been analyzed the tasks that could be implemented by the structure and equipment of the physical model of the electromechanical fan. This electromechanical facility allows you to explore the dynamic and static modes of operation of the fan and the aerodynamic network. It were obtained experimental curves of pressure, flow rate, consumed power and useful power (aerodynamic power), the efficiency of the fan, the generated power and frequency of rotation of the turbine-generator system at the regulation of performance: throttling, guide vanes, the rotation speed of the electromechanical fan impeller, active influence on communication. Obtained results showed that the possible control range of the fan, implemented throttling and frequency of rotation of the impeller, changes from maximum to zero. The analysis of the curves of the turbine-generator system shows that with the decrease in the amount of passed air through the turbine the magnitude of the power is noticeably reduced. It shows that if there is a certain amount of consumption the generated power is equal to zero. This point corresponds to the so-called idle point of the turbine-generator system. This value changes depending on the magnitude of the excitation voltage of the DC generator, which is a load for the turbine. This is due to the increased load created by the resistance of pick-up and, hence, increases the force on the turbine blades for bringing it into rotation. A small range of control performance with active control devices (turbines) and a minor amount of generated power in the network of turbine-generator system is conditioned by the disadvantages of available equipment. **Practical value.** Designed set allows you to explore different technological solutions of control the parameters of the ventilation unit and to evaluate their technical and economic performance. The physical model of the fan unit is the base for the construction and study of automatic control systems with closed technological parameter. It physical model allows to carry out the training of students on Electromechanical specialties, and is intended for research master's and PhD students. References 10, figures 3.

Key words: fan, regulation electric drive.

REFERENCES

1. Leznov, B. (2006) *Energoberezhenie i reguliruemyy privod v nasosnyh i vozduhoduvnyh ustanovkakh* [Energy saving and adjustable drive for pump and blower in plants], Jenergoatomizdat, Moscow, Russia.
2. Ivanovskij, I. (2003), *Shahtnye ventiljatory* [Mine fans], DVG TU, Vladivostok, Russia.
3. Zhukovskij, S. (2007), *Ventyljuvannja prymishhen'* [Ventilation of premises], Lviv Polytechnic national University, Lviv, Ukraine.
4. Bekker A. (2005), *Sistemy ventiljacii* [Ventilation systems], Technosphere "Evroklimat", Moscow, Russia.
5. Nil'sen, T. (2001), *Spravochnik. Povyshenie jenergojektivnosti i modernizacija ventiljatornyh system* [Improving energy efficiency and upgrading fan systems], «Vital-Press», Kiev, Ukraine.
6. Eremkin, A. (2008), *Jekonomicheskaja jeffektivnost' jenergosberezenija v sistemah otoplenija, ventiljacii i kondicionirovanija vozduha: uchebnoe posobie* [Economic efficiency of energy saving in heating, ventilation and air conditioning: a textbook], Associacii stroitel'nyh vuzov, Moscow, Russia.
7. Anan'ev, V. (2001), *Sistemy ventiljacii i kondicionirovanija. Teorija i praktika* [System of ventilation and conditioning. Theory and practice], Evroklimat, Moscow, Russia.
8. Stefanov, E. (2005), *Ventiljacija i kondicionirovanie vozduha* [Ventilation and air conditioning], Avok Severo-Zapad, St. Petersburg, Russia.
9. Koren'kova, T., Mihajlichenko, D., Serdiuk, A., Luzan, P. (2004), "Boundaries of practical use of methods of regulation of parameters of pump units", *Transactions of the Kremenchug State Polytechnical University: CG. Sciences*, no. 3(26), pp. 32–37.
10. Koren'kova, T., Perekrest, A., Mihajlichenko, D., Kravec, A. (2004), "Characteristics of the turbine in the system is actively regulating the efficiency of pumping stations", *Transactions of the Kremenchug State Polytechnical University: CG. Sciences*, no. 2(25), pp. 21–27.

Стаття надійшла 24.10.2015.