

УДК 669.162.27-52

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬ- НОСТИ ТУРБО- КОМПРЕССОРНОГО АГРЕГАТА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

**Г. И. Канюк**Доктор технических наук, профессор, заведующий  
кафедрой\*

Контактный тел.: (057) 731-15-27

**М. А. Попов**Ведущий инженер по эксплуатации и наладке  
оборудования турбинного цеха ОАО «Алчевский  
металлургический комбинат»

Контактный тел.: (057) 731-15-27

**Т. Н. Пугачева**

Кандидат технических наук, доцент\*

Контактный тел.: (057) 733-78-03

**И. К. Кириченко**Доктор физико-математических наук, профессор  
Кафедра высшей и прикладной математики\*\*

Контактный тел.: (057) 733-78-03

**А. Р. Мисько**

Ассистент\*

\*Кафедра теплоэнергетики и энергосбережения\*\*

Контактный тел.: (057) 733-79-43

\*\*Украинская инженерно-педагогическая академия  
ул. Университетская, 16, г. Харьков, Украина, 61003

*Проведено цикл експериментальних досліджень САР турбокомпресорного агрегату доменної печі. Отримано динамічні характеристики процесів зміни тиску стислого повітря, частоти обертання і продуктивності турбокомпресора*

*Ключові слова: САР, електрогідролічна система регулювання, турбокомпресорний агрегат*

*Проведен цикл експериментальних досліджень САР турбокомпресорного агрегата доменной печи. Получены динамические характеристики процессов изменения давления сжатого воздуха, частоты вращения и производительности турбокомпресора*

*Ключевые слова: САР, электрогидравлическая система регулирования, турбокомпресорный агрегат*

*The cycle of experimental researches of SAR of turbo-compressor asm of high furnace is conducted. Dynamic descriptions of processes of change of pressure of the compressed air, frequencies of rotation and productivity of turbo-compressor, are got*

*Keywords: SAR, EGSR, turbo-compressor asm*

## 1. Постановка задачи

В работах [1–3] показаны и обоснованы важность и актуальность задачи повышения точности САР подачи сжатого воздуха в доменные печи для металлургической промышленности Украины и ее экономики в целом и сформулированы основные направления решения поставленной задачи, которые включают:

1. Усовершенствование конструкции исполнительного механизма ЭГСР путем замены инерционной и

громоздкой системы электропривода основного золотника пропорциональным сервоклапаном с электрическим управлением, а также обеспечение непосредственной связи штока гидравлического сервомотора с системой регулирующих клапанов за счет повышения давления в гидросистеме (и, соответственно, усилия на штоке) и исключение сложной механической передачи между штоком сервомотора и траверсой. Известные разработки и исследования [3] подтвердили практическую эффективность таких ЭГСР и возможность обеспечения высокой точности управления с их использованием.

2. Синтез прецизионного регулятора для ЭГСР на основе современных методов теории управления: мультипликативного и модального управления, обратных задач динамики, компенсации отрицательного влияния нелинейных характеристик объекта управления и исполнительного механизма (такие методы синтеза эффективно использовались, в частности, авторами при решении задачи повышения точности и быстродействия ЭГСР частоты и мощности паровых турбин тепловых и атомных электростанций).

## 2. Анализ и результаты исследования

Для анализа динамических характеристик САР и синтеза прецизионного регулятора подачи воздуха необходимо разработка точных и достоверных моделей турбокомпрессорного агрегата различных уровней сложности. При этом оценка достоверности и идентификация численных значений параметров разрабатываемых моделей должны выполняться по результатам натурных экспериментальных исследований существующих САР. Такие исследования проводились авторами на САР производительности турбокомпрессорного агрегата доменной печи объемом  $3000 \text{ м}^3$  и производительностью 2 млн. т чугуна в год Алчевского металлургического комбината.

Целью экспериментальных исследований являлись оценка реальной точности САР по результатам отклонений фактической производительности турбокомпрессора от заданных значений, а также сравнительная оценка динамических характеристик процессов изменения основных параметров, необходимая для построения упрощенных математических моделей САР и их идентификации.

В процессе исследования измерялись следующие параметры турбокомпрессора:

- частота вращения ротора;
- объемная производительность;
- давление сжатого воздуха.

При проведении измерений использовались следующие измерительные приборы.

Расход сжатого воздуха определялся по измеряемому перепаду давлений на торцевой диафрагме с диаметром отверстия  $1556 \text{ мм}$  при перепаде давлений  $400 \text{ кгс/м}^2$  и нормальном значении расхода  $320\,000 \text{ Н} \cdot \text{м}^3/\text{час}$ .

Измерение скорости вращения вала осуществлялось приборами, входящими в комплект многоканальной автоматизированной системы виброзащиты и диагностики ИТ12РЭ производства НПП «Измерительные технологии» (Россия, г. Саров Нижегородской области). Система предназначена для измерения параметров абсолютной и относительной вибрации, скорости вращения валов, линейных смещений, температуры, давления, сопротивлений, токов и других параметров. При этом диапазон измерения скорости вращения валов составляет от 1 до  $50\,000 \text{ об/мин}$ , пределы допускаемой основной абсолютной погрешности -  $\pm 0,5 \text{ об/мин}$  в диапазоне от 1 до  $5000 \text{ об/мин}$ , основной относительной погрешности -  $\pm 0,01\%$  в диапазоне от  $5000$  до  $50\,000 \text{ об/мин}$ .

Для измерения давления сжатого воздуха и перепада давлений на расходомерной диафрагме исполь-

зовались датчики давления типа «Метран-100» [4] мембранного типа, обеспечивающие непрерывное преобразование измеряемых величин - абсолютного и избыточного давления, разрежения, разности давлений в унифицированный токовый выходной сигнал дистанционной передачи, в выходной сигнал на базе HART-протокола, или в цифровой сигнал на базе интерфейса RS-485 с протоколами обмена ICP или Modbus. Цифровой выход используется для связи датчика с портативным ручным HART-коммуникатором или с персональным компьютером через стандартный последовательный порт и дополнительный HART-модем, при этом может выполняться настройка датчика, выбор его основных параметров, перестройка диапазонов измерений, корректировка нуля и ряд других операций.

Максимальный верхний диапазон измерений датчиков «Метран» составляет, в зависимости от модификации, от  $0,4 \text{ кПа}$  до  $100 \text{ МПа}$ ; предел допускаемой основной погрешности, в зависимости от измеряемого давления - от  $0,25$  до  $1\%$ .

На рис. 1 представлена конструкция датчиков «Метран» модификаций 1153, 1152, 1162, 1172, 1173.

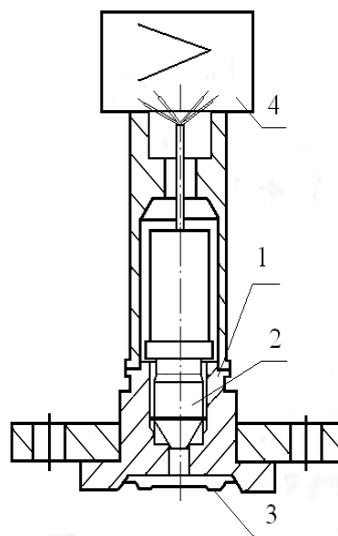


Рис. 1. Конструкция датчика «Метран»

Сенсорный блок преобразователя состоит из корпуса 1, в котором закреплен тензопреобразователь 2. К нижней части корпуса приварена разделительная мембрана 3. Внутренняя часть корпуса между мембраной 3 и тензопреобразователем 2 заполнена жидкостью. В верхней части корпуса крепится электронный преобразователь 4. Измеряемое давление воздействует на разделительную мембрану 3 и вызывает ее прогиб. Давление через жидкость передается на измерительную мембрану тензопреобразователя 2 и вызывает ее деформацию. Электрический сигнал, возникающий от деформации измерительной мембраны, передается на электронный преобразователь 4 и преобразуется в стандартный токовый выходной сигнал.

Функционально электронный преобразователь (рис. 2) состоит из аналого-цифрового преобразователя (АЦП), блока памяти АЦП, микроконтроллера с блоком памяти, цифро-аналогового преобразователя

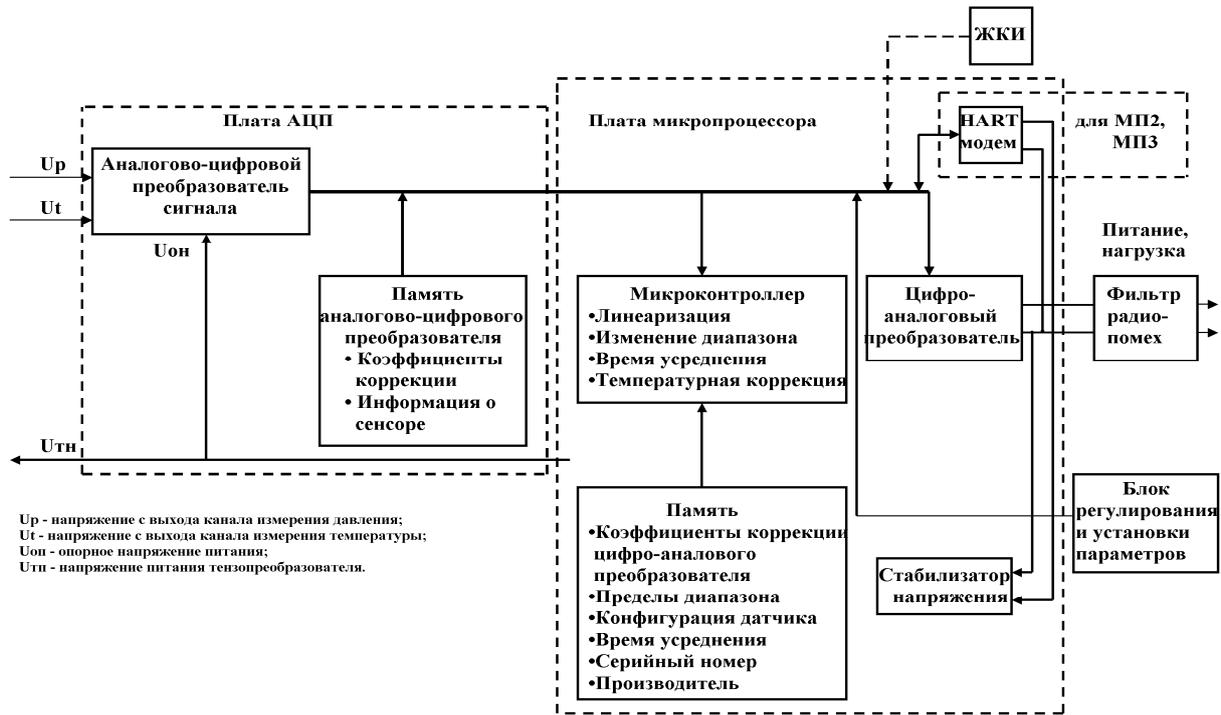


Рис. 2. Блок-схема электронного преобразователя микропроцессорного датчика давления

(ЦАП), стабилизатора напряжения, фильтра радиопомех и блока регулировки и установки параметров для преобразователя с кодом МП, МП1 или HART-модема для преобразователей с кодом МП2, МП3.

Конструкция электронного преобразователя приведена на рис. 3.

Непосредственные результаты измерений приведены на рис. 4-8. Из этих результатов следует:

1) При изменении задающего воздействия по расходу воздуха с 3600 до 3000 м<sup>3</sup>/мин времена переходных процессов изменения частоты вращения и производительности ротора турбокомпрессора, давления сжатого воздуха составляют порядка 15 минут.

2) Значения постоянной, переменной и суммарной погрешностей регулирования расхода сжатого воздуха составляют, соответственно, 3,5, 6,9 и 10,4%.

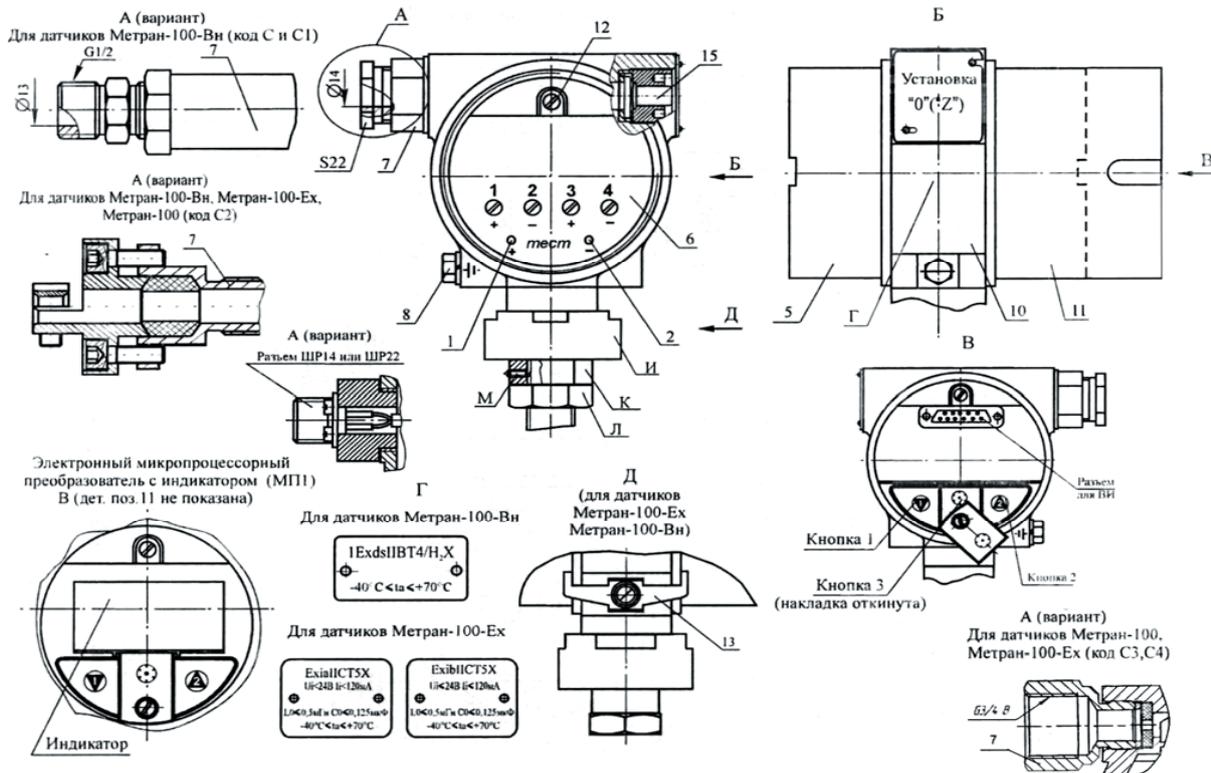


Рис. 3. Электронный преобразователь микропроцессорный

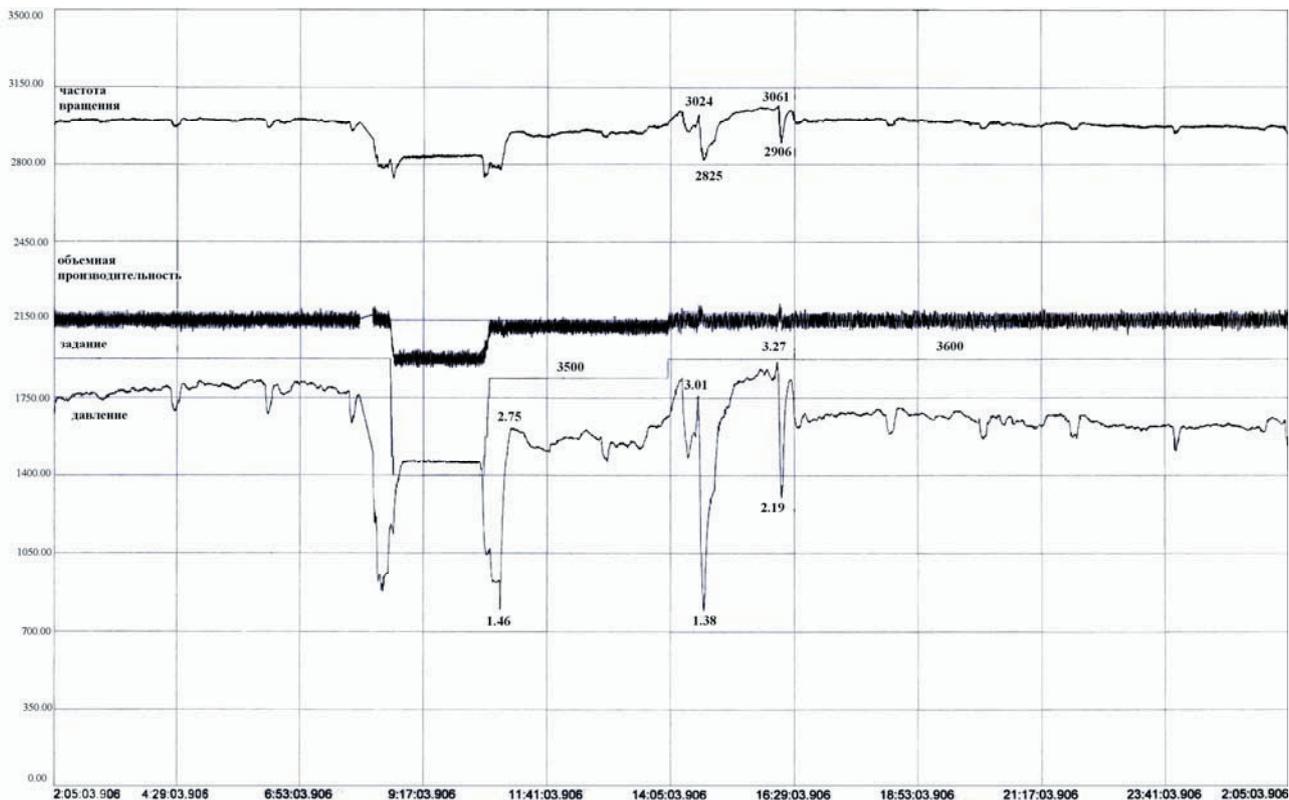


Рис. 4. Экспериментальные характеристики САР турбокомпрессорного агрегата (режим № 1)

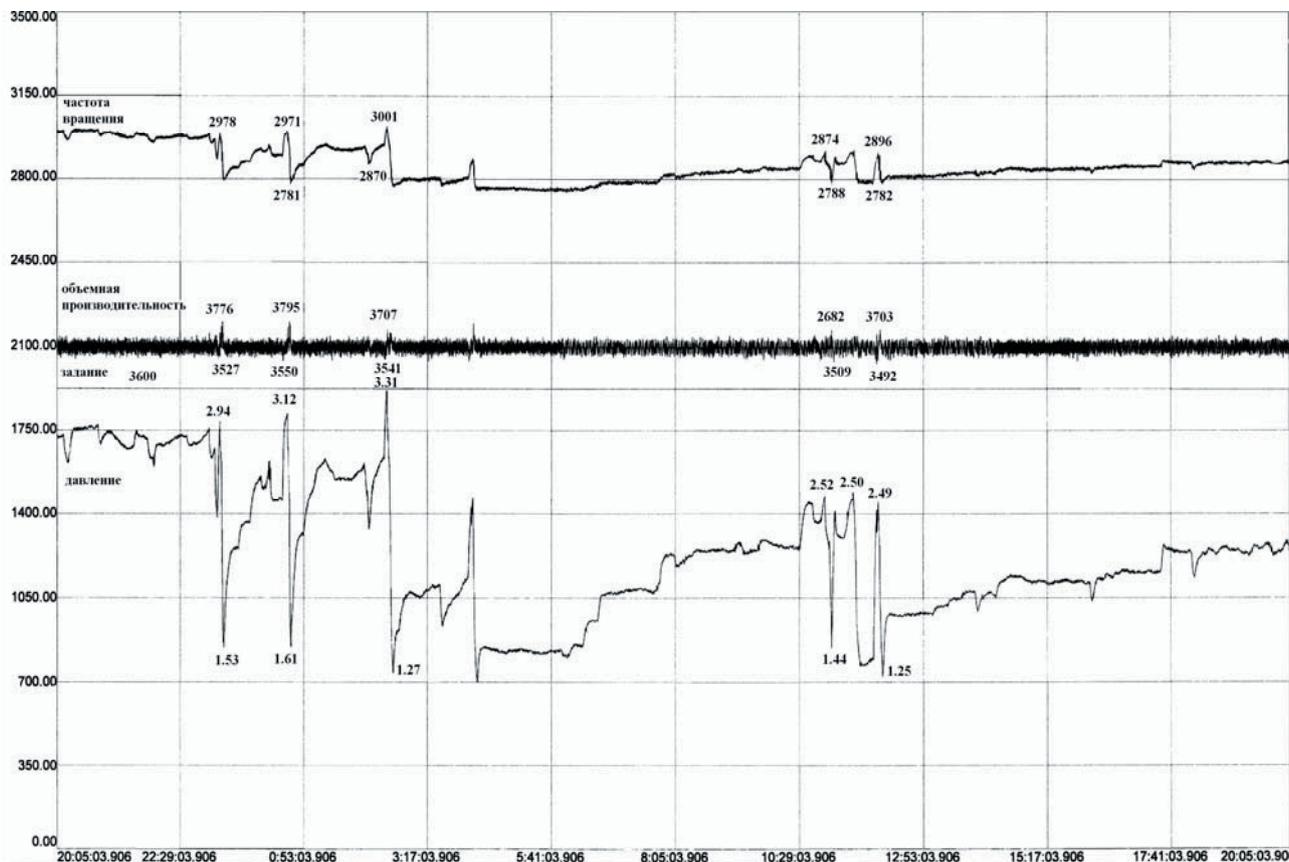


Рис. 5. Экспериментальные характеристики САР турбокомпрессорного агрегата (режим № 2)



Рис. 6. Экспериментальные характеристики САР турбокомпрессорного агрегата (режим № 3)

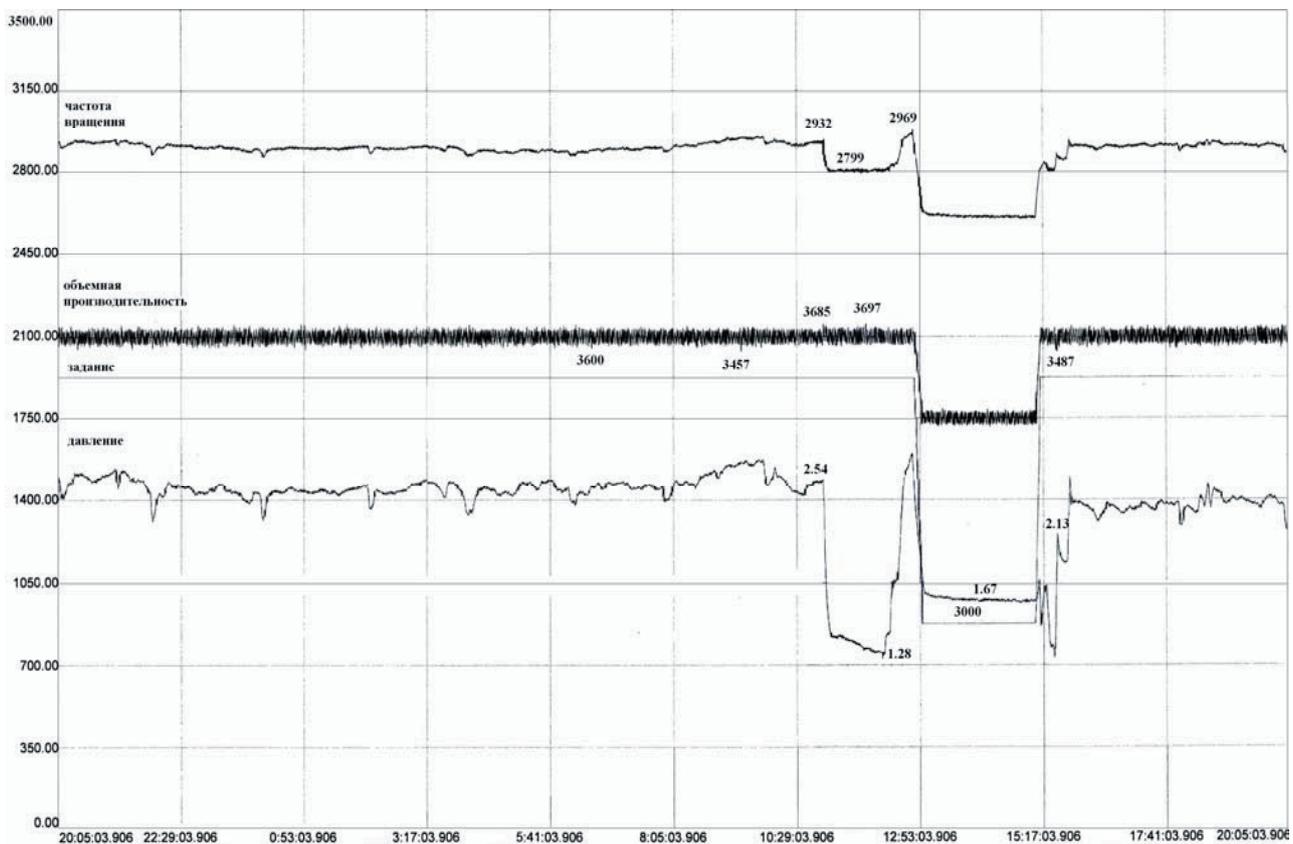


Рис. 7. Экспериментальные характеристики САР турбокомпрессорного агрегата (режим № 4)

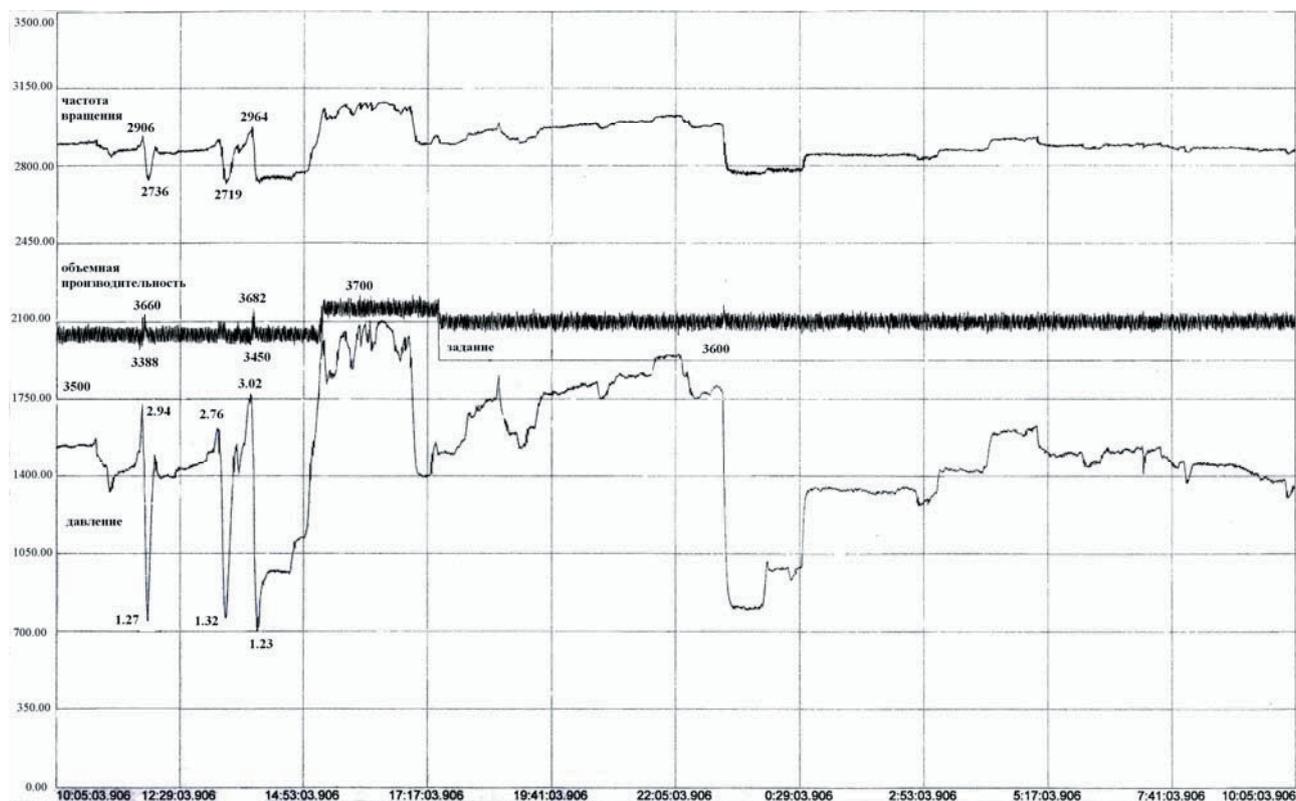


Рис. 8. Экспериментальные характеристики САР турбокомпрессорного агрегата (режим № 5)

### 3. Выводы

1. Проведен цикл экспериментальных исследований САР турбокомпрессорного агрегата домны объемом 3000 м<sup>3</sup> Алчевского металлургического комбината. В результате исследований получены динамические характеристики процессов изменения давления сжатого воздуха, частоты вращения и производительности турбокомпрессора, которые могут использоваться для проверки достоверности и идентификации параметров математических моделей, необходимых для синтеза прецизионных регуляторов расхода сжатого воздуха.

2. В результате исследований установлено, что суммарная погрешность регулирования расхода сжатого воздуха, подаваемого в домну турбокомпрессором, даже оснащенным современной микропроцессорной САР, может составлять 10-11%. Это приводит к значительному снижению экономичности процесса выплавки чугуна из-за соответствующего увеличения расхода кокса, обусловленного необходимостью поддержания нормального температурного режима при существующих колебаниях расхода подаваемого воздуха.

3. Значительная погрешность регулирования расхода воздуха в существующей САР обусловлена, главным образом, низкой эффективностью используемых законов управления (ПИД-регуляторы). Такие регуляторы не обеспечивают компенсации погрешностей, обусловленных астатизмом САР и нелинейными статическими характеристиками исполнительных механизмов и объекта управления (нечувствительность, сухое трение, люфты и т. п.).

4. Для повышения точности САР и, соответственно, экономических показателей домны, необходим синтез

быстродействующих прецизионных регуляторов на основе методов мультипликативного и модального управления, обратных задач динамики, с использованием переменных коэффициентов усиления и линейных алгоритмов управления.

### Литература

1. Канюк Г. И. Проблемы повышения точности систем автоматического регулирования турбокомпрессорных агрегатов [Текст] / Г. И. Канюк, М. А. Попов // Сб. тезисов Международной научн.-практ. конференции «Качество технологий - качество жизни». - Харьков - Судак, 2010. - С. 81.
2. Канюк Г. И. Проблемы повышения точности систем автоматического регулирования турбокомпрессорных агрегатов, используемых в доменном производстве [Текст] / Г. И. Канюк, М. А. Попов // Материалы VI Международной научн.-практ. конференции «Наука в информационном пространстве». - Днепропетровск, 2010. - С. 71-76.
3. Канюк Г. И. Основные направления повышения показателей качества электрогидравлических систем автоматического регулирования производительности турбокомпрессорных агрегатов доменных печей [Текст] / Г. И. Канюк, М. А. Попов, И. К. Кириченко // Вестник национального технического университета «ХПИ». - Харьков: НТУ «ХПИ». - 2010. - № 46. - С. 70-74.
4. Датчик давления метран-100. Руководство по эксплуатации [Текст]: СПГК.5070.000.00 РЭ. - Челябинск, 2007. - С. 38-51.