

УДК 621.313.3

ОГНЕСТОЙКОСТЬ ВЕНТИЛЯТОРА ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ МЕТРОПОЛИТЕНА

И.И. Пушкарёв, В.В. Дударев, В.В. Големгрейн, О.П. Муравлёв*

ОАО «Томский электромеханический завод им. В.В. Вахрушева»

*Томский политехнический университет

E-mail: mor@tpu.ru

Проведены исследования работы вентилятора проветривания тоннелей и станций метрополитена ВГПМ-20 в условиях повышенного температурного режима – при 400 °С. Для обеспечения огнестойкости этого вентилятора создан асинхронный двигатель нового поколения с прямоугольной формой пазов сердечников статора и ротора, медной короткозамкнутой обмоткой ротора, специальными подшипниками с нагревостойкой смазкой и лопатки вентилятора выполнены из высокотемпературного сплава алюминия. Впервые в России вентилятор такого назначения прошел испытания на огнестойкость при 400 °С в специальной установке, разработанной в ОАО «Томский электромеханический завод им. В.В. Вахрушева». Результаты испытаний подтверждены документально – получен Сертификат пожарной безопасности № ССПБ.RU.УП001.В.07662.

Ключевые слова:

Вентилятор, асинхронный двигатель, огнестойкость, метрополитен.

Key words:

Ventilator, induction motor, fireproofness, underground railway.

Метрополитены, как правило, расположены в крупных городах, состояние воздушной среды в которых определяется особенностями климата, наличием промышленных зон, озеленения и т. д. Вентиляция тоннелей и станций метрополитенов должна отвечать санитарным нормам и проектироваться с учетом местных условий.

Задачей вентиляции станций и тоннелей является не только поддержание в местах пребывания пассажиров и обслуживающего персонала заданных метеорологических условий и химического состава воздуха, удовлетворяющих гигиеническим требованиям, но и создание необходимых режимов проветривания при нарушении нормальной работы устройств метрополитена и задымлении. Вентилятор главного проветривания метрополитена должен обеспечить возможность дымоудаления и воздухообмена тоннеля в аварийной ситуации [1]. В этом случае вентилятор должен обладать огнестойкостью, чтобы выполнить свои функции в течение одного часа при повышенной температуре 400 °С.

В ОАО «Томский электромеханический завод им. В.В. Вахрушева» спроектированы, изготовлены и установлены для эксплуатации в Московском метрополитене на станциях «Шаболовская», «Речной вокзал» и «Водный стадион» в 2008–2011 гг. по 2 осевых вентилятора для проветривания тоннелей и станций метрополитена ВГПМ-20 с потребным количеством воздуха от 90 до 250 тыс. м³/ч и давлением от 300 до 950 Па [2]. Основные задачи, которые решены при разработке этого вентилятора:

- создан огнестойкий асинхронный двигатель нового поколения с прямоугольной формой пазов сердечника статора и нагревостойкой изоляцией обмотки статора;
- повышена эффективность эксплуатации вентиляторов за счет применения экономичных аэродинамических схем;

- сокращены объемы строительных работ и затрат при новом строительстве и замене морально изношенных и физически устаревших вентиляторов;
- повышена надежность работы вентиляторов в обычных условиях и в условиях повышенного температурного режима, до 400 °С в течение часа;
- улучшены аэродинамические характеристики и энергоэффективность при реверсивной работе вентилятора;
- приведена конструкция вентиляторов к современным требованиям эксплуатации, возможности использования программного и автоматического управления, частотного регулирования;
- повышена конкурентоспособность по отношению к аналогам зарубежных вентиляторов.

Цель настоящей статьи – доказать возможность работы вентилятора проветривания тоннелей и станций метрополитена ВГПМ-20 в условиях повышенного температурного режима – при 400 °С.

Огнестойкость вентилятора должна быть обеспечена для всех элементов его конструкции: обмоток статора и ротора, подшипников асинхронного двигателя и лопаток вентилятора. При решении этой проблемы для каждого из этих элементов были приняты следующие решения.

Обмотка статора является наиболее слабым звеном из всех элементов вентилятора. Она имеет высший класс нагревостойкости *H* изоляции, применяемый для электрических машин, допускающий нагрев до 180 °С, который не может обеспечить огнестойкость асинхронного двигателя. При более высокой температуре изоляция обмотки статора разрушается, что приводит к немедленному отказу двигателя. Для обеспечения огнестойкости асинхронного двигателя и повышения его надежности в рабочем режиме при его создании приняты следующие оригинальные решения. Выбраны полукрытый паз статора прямоугольной формы и об-

мотка статора из проводников прямоугольного сечения, вместо полузакрытого паза трапециальной формы и обмотки статора из проводников круглого сечения, которые рекомендуются для асинхронных двигателей применяемого диапазона мощностей в вентиляторах главного проветривания метрополитена. На рис. 1 представлен эскиз паза статора с заполнением. Для обмотки использован провод прямоугольного сечения марки ПСДКТ-Л, усиленный для повышения огнестойкости дополнительной изоляцией – лентой ЛСКВ – 4, имеющей нагревостойкость до 600 °С. Кроме этого, обмотка статора с жесткими секциями из провода прямоугольного провода с учетом рядовой укладки имеет повышенную надежность. Применение паза прямоугольной формы позволило усилить корпусную изоляцию полукатушек дополнительным слоем нагревостойкой изоляции – лентой ЛСКВ – 5. Пропитка обмотки осуществлена лаком КО-16к – 3 и 6, 1 и 8 – прокладка из стеклотекстолита СТТ 0,5, 2 – коробка пазовая из имидофлекса 0,25, 7 – прокладка междуслойная из слюдинита ГСКВ 0,15 и 9 – клин пазовый из стеклотекстолита СТТ.

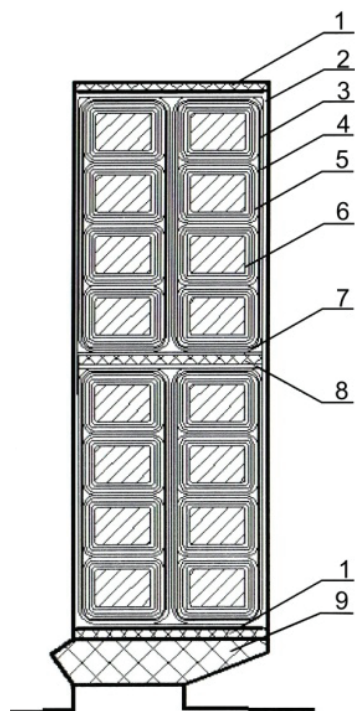


Рис. 1. Эскиз паза статора с заполнением

В серийных асинхронных двигателях короткозамкнутая обмотка ротора выполняется из алюминия и заливается под давлением. При такой технологии возможна не полная заливка пазов ротора алюминием, что приводит к появлению дефекта обмотки ротора, местному перегреву и возможности расплавления обмотки во время испытания на огнестойкость. Для исключения такого случая обмотка ротора взрывозащищенного асинхронного двигателя вентилятора проветривания тоннелей и станций метрополитена выполнена из меди, которая имеет температуру плавления значительно

выше, чем алюминий, и заложена в прямоугольные пазы ротора. Это исключает появление любых дефектов в короткозамкнутой обмотке ротора, обеспечивает огнестойкость и дополнительно повышает коэффициент полезного действия.

Подшипники, применяемые в серийных асинхронных двигателях с классом нагревостойкости изоляции *H*, не могут выдержать испытания при повышенной температуре 400 °С. Поэтому в асинхронном двигателе вентилятора для проветривания тоннелей и станций метрополитена ВГПМ-20 применены специальные подшипники: 2 радиально-упорных подшипника типа 7220 ВЕСВМ со стороны рабочего колеса вентилятора и подшипник типа 6220/СЗ со стороны тормоза вентилятора. Эти подшипники имеют повышенный радиальный зазор и заполнены нагревостойкой смазкой Krytox GPR 226, которая при высокой температуре разлагается на жидкую и пастообразную фракции. Более густая фракция обеспечивает смазку подшипника при испытании вентилятора на огнестойкость.

Для лопаток вентилятора применен высокотемпературный алюминиевый сплав АМ5.

Испытания на огнестойкость для вентиляторных установок проведены впервые в России в ОАО «Томский электромеханический завод им. В.В. Вахрушева». Для проведения испытаний на основании критериев огнестойкости и норм пожарной безопасности создана «Комплексная установка для испытания изделий на огнестойкость» [3, 4]. Установка предназначена для испытания на огнестойкость следующих видов изделий: вентиляторы дымоудаления; клапаны противопожарные (в том числе систем вентиляции); каналы систем кондиционирования аварийной противодымной, местной и технологической вентиляции, пневмотранспорта; конструкции и изделия строительные дымогазонепроницаемые (дымогазонепроницаемые двери и ворота). Нормы пожарной безопасности [4] устанавливают метод испытания на огнестойкость вентиляторов, используемых для механического побуждения тяги в системах аварийной противодымной вентиляции, а также в системах общеобменной, местной вытяжной вентиляции и кондиционирования, предназначенных для функционирования в режиме противодымной вентиляции при пожарах в зданиях и сооружениях различного назначения.

Установлены следующие критерии огнестойкости:

- Огнестойкость вентилятора – способность вентилятора сохранять функциональное назначение без снижения производительности на 15 % и выше при перемещении высокотемпературной газовой среды при пожаре.
- Огнестойкость вентилятора определяется временем от начала нагревания перемещаемой газовой среды до наступления одного из предельных состояний.
- Наступление предельного состояния по разрушению характеризуется разрушением одного или нескольких элементов конструкции венти-

лятора, воспламенением в узле привода вентилятора и образованием в корпусе вентилятора трещин или отверстий с выбросом через них нагретых газов.

Сущность метода и режимы испытания заключаются в определении времени, по истечении которого достигается одно из предельных состояний конструкции вентилятора. В процессе испытаний регулировка вентилятора не проводится, и температура газовой среды, поступающей в вентилятор в процессе испытаний, должна быть постоянной 400 °С — для вентиляторов систем, обслуживающих помещения на путях эвакуации из зданий и сооружений, смежных с горящим (коридоры, холлы и др.).

Установка для испытания вентиляторов на огнестойкость, разработанная в соответствии с критериями и нормами пожарной безопасности имеет следующие технические характеристики:

- мощность электродвигателя установки — 5 кВт;
- расход воздуха установки — 1,0...4,0 м³/с;
- избыточное давление, создаваемое на испытываемой конструкции — 10...50 Па;
- напряжение питания — 380 В, 50 Гц;
- габаритные размеры огневой камеры (внутренние) — диаметр 2000 мм и длина 1500 мм;
- габаритные размеры горизонтального дымохода — диаметр 500 мм;
- суммарная площадь взрывных клапанов — 2,9 м²;
- максимальная рабочая температура в огневой камере — не более 600 °С;
- суммарная мощность горелок — 800 кВт;
- объем нагреваемого воздуха — 140 м³;
- вид топлива — керосин.

Комплексная установка для испытаний изделий на огнестойкость, рис. 2, состоит из: корпуса — 1–3; панели горелок — 4; огнеупорного экрана — 17; панели дымохода — 5; дросселирующего устройства основного потока — 6; вентилятора для подачи воздуха в горелки — 15; станции подачи топлива — 16; выравнивающего устройства — 18.

Корпусные элементы установки, выполненные из листового металла, установлены на специальных подставках и соединяются болтами. Наружная поверхность изолирована термостойким материалом. Обеспечение заданного температурного режима в огневой камере осуществляется воздушно-керосиновыми струйными горелками, которые установлены на панели в количестве 7 шт. Для стабилизации процесса горения в топочном объеме встроен передвижной огнеупорный экран, изготовленный из чугуна. Подача топлива (керосина) к коллекторной трубе горелок осуществляется через топливоподводящий шланг. Распыление топлива в конструкции установки обеспечивается вентилятором ВВД-2,8. Стабилизация потока воздуха в корпусе установки производится встроенным выравнивающим устройством (решеткой). Безопасность работы обеспечивают взрывные клапаны, предусмотренные в корпусе устройства. Удале-

ние продуктов горения из установки происходит через выхлопной канал, присоединенный к осевому вентилятору. В выхлопном канале установлена дроссельная заслонка, необходимая для регулирования тяги и температурного режима в огневой камере стенда.

Монтажный проем диаметром 2000 мм, рис. 2, предусмотрен для испытания осевых вентиляторов. При тестировании клапанов противопожарных, систем вентиляции, каналов систем кондиционирования, аварийной противодымной, общеобменной, местной и технологической вентиляции, пневмотранспорта, изделий строительных дымогазонепроницаемых (двери и ворота) в корпусе установки предусмотрены монтажные проемы.

Комплект средств измерений обеспечивает измерение линейных размеров испытываемых образцов, интервал времени, температуры, перепад давлений. При испытаниях возможна замена используемых средств измерений на аналогичные (без снижения точностных и динамических характеристик систем измерения). Расположение контрольно-измерительной аппаратуры, манометра давления, датчиков статического и динамического давления, термоэлектрических преобразователей показаны на рис. 2.

Испытываемый вентилятор устанавливается в соответствующем монтажном проеме установки способом, предусмотренным сопроводительной технической документацией на данный вид изделия. После монтажа вентилятора производится установка датчиков давления и температуры в соответствии с заданной схемой.

Испытываемый вентилятор устанавливается в соответствующем монтажном проеме установки способом, предусмотренным сопроводительной технической документацией на данный вид изделия. После монтажа вентилятора производится установка датчиков давления и температуры в соответствии с заданной схемой.

Перед запуском установки после окончательного монтажа или длительной остановки проверяется исправность всех механизмов и готовность к испытаниям.

Регулирование температуры пламени горелки осуществляется за счет изменения соотношения подачи топлива и воздуха. Во всем диапазоне регулирования тепловой мощности установки не должно происходить проскоков, срывов и отрывов пламени.

При достижении требуемой температуры необходимо выключить часть горелок. Количество дежурных горелок определяется опытным путем в процессе пусконаладочных работ. Отключение установки во всех случаях, кроме аварийной, должно производиться по окончании проведения испытаний.

Остановка производится следующим образом:

- перекрывают подачу топлива;
- через 5...7 мин отключают вентилятор, подающий поток воздуха на горелки.

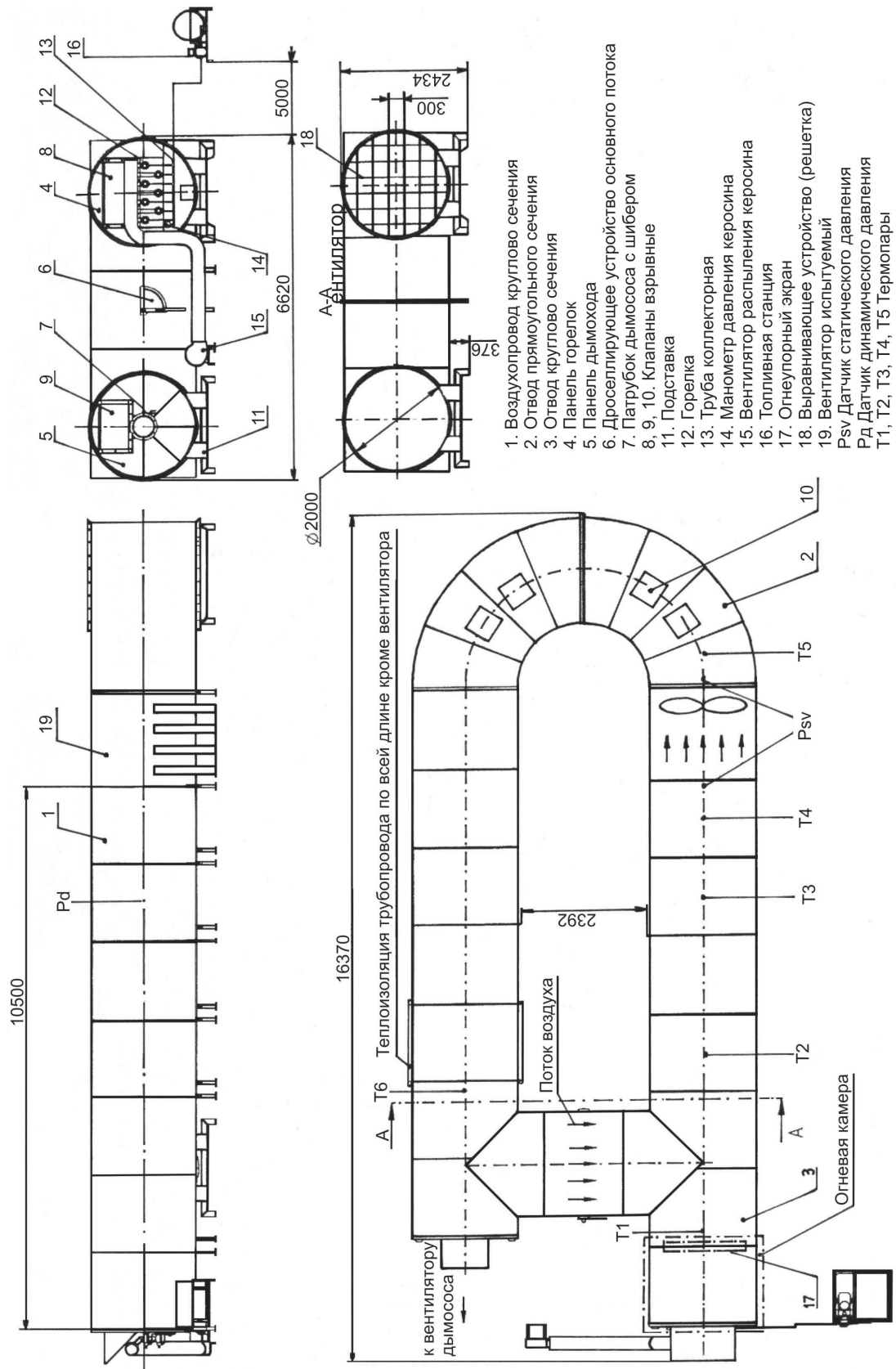


Рис. 2. Схема установки для испытания вентилятора на огнестойкость

При каждой остановке следует обращать внимание на внешний вид топливной системы (горелок, шлангов), толщину нагара, на наличие шлама и коррозию. При проведении работ на установке должны соблюдаться требования безопасности и производственной санитарии согласно ГОСТ 12.2.003-91, ГОСТ 12.1.019-79, ГОСТ 12.1.005-76 и «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей».

Техническое обслуживание и проверка средств измерений выполняется в объемах и в сроки, предусмотренные эксплуатационной документацией и графиком проверки системы измерений.

Проверка системы измерений осуществляется отделом метрологического обеспечения ВНИИПО МВД России, г. Москва. Вентилятор, насос, запорно-регулирующая аппаратура, электрооборудование и механизмы управления обслуживаются централизованно в соответствии с графиком планово-предупредительных работ. Исправность других элементов установки контролируется визуально перед каждым испытанием. Замена уплотнений в форсунках, и вентилях производится ежегодно.

На рис. 3–5 приведены результаты испытаний. На рис. 3 показано, как поддерживалась температура T в камере при испытаниях – вентилятор про-

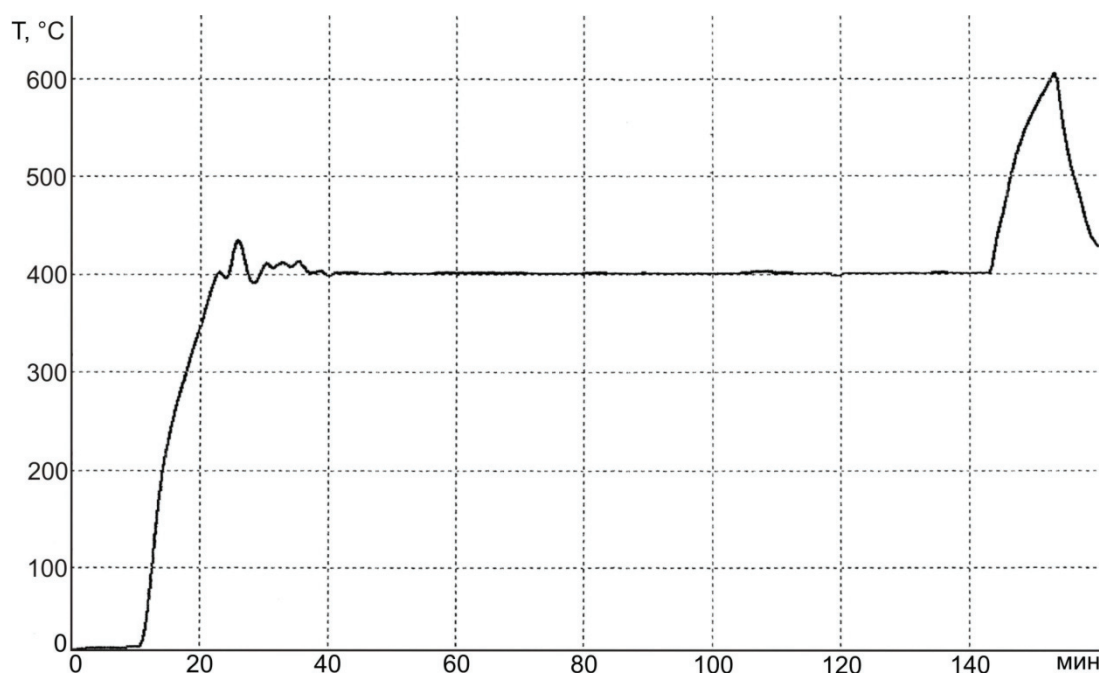


Рис. 3. Температура на входе вентилятора

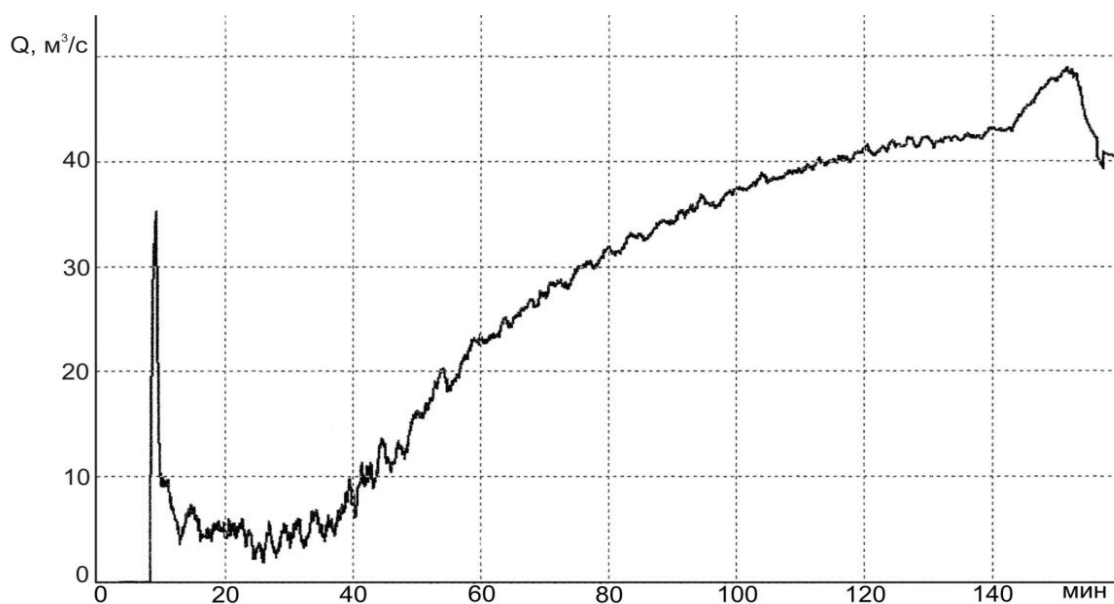


Рис. 4. Производительность вентилятора в процессе испытания

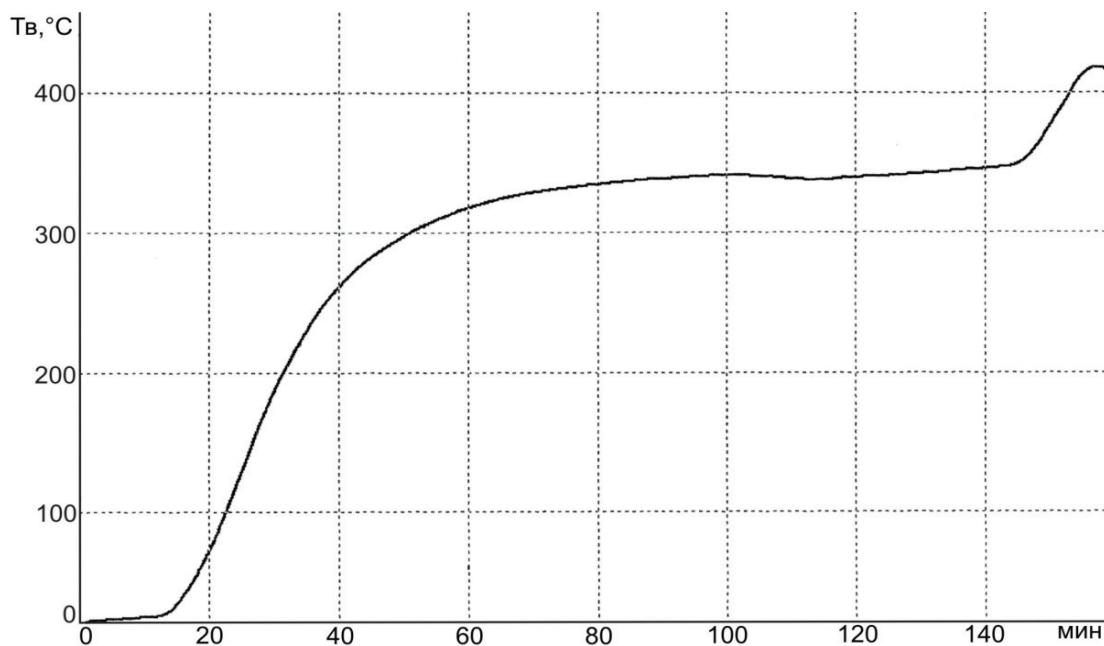


Рис. 5. Температура воздуха внутри электродвигателя

работал 2 ч при постоянной температуре 400 °C и выдержал заданные условия испытаний. После этого температура в камере была повышена до 600 °C с целью проверить работоспособность вентилятора при этой температуре, но вскоре после достижения температуры лопасти вентилятора стали разрушаться.

Производительность вентилятора Q в процессе испытания показана на рис. 4; в процессе испытаний она удовлетворяет критериям огнестойкости [4]. Температура воздуха внутри асинхронного двигателя T_v (рис. 5) была выше 300 °C, и при выбранной системе изоляции разрушения обмотки статора не наблюдались.

Выводы

Показана возможность работы вентилятора проветривания тоннелей и станций метрополитена ВГПМ-20 в условиях повышенного температурно-

го режима — при 400 °C. Для обеспечения огнестойкости этого вентилятора создан асинхронный двигатель нового поколения с прямоугольной формой пазов сердечника статора и усиленной по нагревостойкости изоляцией обмотки; короткозамкнутая обмотка ротора выполнена из меди, которая более устойчива к нагреву по сравнению с алюминием; выбраны специальные подшипники с увеличенным радиальным зазором и заполненные нагревостойкой смазкой, способной выдержать испытания, и лопасти вентилятора выполнены из высокотемпературного алюминиевого сплава. Впервые в России вентилятор такого назначения прошел испытания на огнестойкость в специальной установке, разработанной на ОАО «Томский электро-механический завод им. В.В. Вахрушева». Результаты испытаний подтверждены документально — получен Сертификат пожарной безопасности № ССПБ.RU.УП001.В.07662.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Россковский В.Г. Электромеханические устройства метрополитена. — М.: Империя Пресс, 2004. — 608 с.
2. Вентилятор главного проветривания метрополитена ВГПМ-20. Руководство по эксплуатации. — Томск: Изд-во ТЭМЗ, 2008. — 47 с.
3. Комплексная установка для испытания изделий на огнестойкость. Паспорт. — Томск: Изд-во ТЭМЗ, 2008. — 14 с.
4. Нормы пожарной безопасности НПБ 253-98. «Оборудование противодымной защиты зданий и сооружений. Вентиляторы. Метод испытания на огнестойкость». Утверждены ГУГПС МВД России 25.05.98. Срок действия и дата введения — с 01.06.98. — 7 с.

Поступила 29.03.2011 г.