

Мерзликин В.А., докт. экон. наук, канд. техн. наук, **Малякин Е.М.,**
Соколенко Е.Ю. (ООО «НПК «Горные машины»)

ВЕНТИЛЯТОРЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ НПК «ГОРНЫЕ МАШИНЫ»

У статті наведено відомості про розробку НПК «Гірничі машини» ряду нових осьових реверсивних вентиляторів нового покоління серії ВО-Р.

Детально викладені технічні та аеродинамічні характеристики базового осьового одноступінчастого реверсивного вентилятора ВО-42,5РЗ, а також наведені схеми і конструктивні виконання вентиляторних установок головного провітрювання, у тому числі і компактна вентиляторна установка з перемикачами повітряного потоку та її переваги.

В статье приведены сведения о разработке НПК «Горные машины» ряда новых осевых реверсивных вентиляторов нового поколения серии ВО-Р.

Подробно изложены технические и аэродинамические характеристики базового осевого одноступенчатого реверсивного вентилятора ВО-42,5РЗ, а также приведены схемы и конструктивные исполнения вентиляторных установок главного проветривания, в том числе и компактная вентиляторная установка с переключателями воздушного потока и ее преимущества.

In the article given the information about the elaboration of the range of the new axe reverse vents of the generation (seria ВО-Р) by the "Mining Machine" institute.

In detail suggested the technical and aerodynamic characteristics of the base axe one step reverse vent ВО-42, 5РЗ, also presented the schemes and constructive design of the vent units of the main airing, including the compact vent unit with the switches of the air stream and its advantages.

КС: шахтные вентиляторы главного проветривания, рабочая область эксплуатации, осевой одноступенчатый реверсивный вентилятор, вентиляторная установка.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. ПАО «Донецкгормаш» (ранее завод им. 15-летия ЛКУ) за период с 1956 по 2012 гг. изготовил более 1100 шт. центробежных вентиляторов ВЦ-4, ВЦ-5 (А, Б), ВЦД-32М, ВЦ-32, ВЦ-31,5М2 (ВЦ-31,5М), ВЦД-31,5М2 (ВЦД-31,5М), ВЦД47,5УМ (ВЦД-47У), ВЦД-47 «Север», ВЦД-42,5 и ВРЦД-4,5СМ (ВРЦД-4,5) с диаметром рабочих колес от 3 м до 5 м и более 317 шт. осевых вентиляторов ВОД-30М2 (ВОД-30М), ВОД-40М (ВОД-40) и ВОД-50 [3, 8].

Цель статьи – определение аэродинамических характеристик ряда новых вентиляторов в реверсивном исполнении и при наличии одного колеса.

В 90-х годах прошлого века ведущие зарубежные фирмы (такие как «Howden», «ККК» и «ТЛТ» (Германия), а также фирма «Flakt Woods» (Швеция) освоили выпуск осевых одноступенчатых вентиляторов нового поколения с окружной скоростью по концам лопаток 130...170 м/с и высоким полным КПД, равным 0,86..0,88.

На рынках России и Казахстана новые осевые вентиляторы зарубежных фирм появились в 2006-2007 годах, а в Украине зарубежные фирмы начали принимать участие в тендерах в 2012 году.

В 2011 году НПК «Горные машины» разработала техническое задание на ряд осевых одноступенчатых реверсивных вентиляторов нового поколения ВО-25РЗ, ВО-31Р1, ВО-34РЗ, ВО-42,5РЗ, ВО-48Р1 и ВО-58Р1, а также конструкторскую документацию на базовый вентилятор нового поколения ВО-42,5РЗ с рабочим колесом диаметром 4,25 м на максимальную окружную скорость по концам лопаток 167 м/с [5, 6, 7].

Таблица 1.

Осевые одноступенчатые вентиляторы

Техническая характеристика	ВО-25P3	ВО-34P1	ВО-34P3	ВО-42,5P3		ВО-48P1	ВО-58P1
Диаметр рабочего колеса, мм	2500	3400	3400	4250		4800	5800
Частота вращения, об/мин	1000	750	750	600	750	600	500
Подача в пределах рабочей области, м ³ /с	50...300	70...540	70...530	150...790	120...1030	150..1250	220...1800
Статическое давление в пределах рабочей области, даПа	110...590	110...480	130...590	170...590	200...920	130...590	130...590
Полный коэффициент полезного действия	0,87	0,87	0,87	0,87		0,87	0,87
Максимальная мощность электропривода, кВт	1600	2500	3150	4000...5000	9000	7000	10000

Изложение основного материала. Первоочередная разработка базового вентилятора ВО-42,5P3 была выполнена в связи с требованием рынка СНГ в вентиляторах с подачей 800 м³/с и давлением до 8000 Па, где наши крупные центробежные вентиляторы типа ВЦД-47 «Север» (ВЦД-42,5) не могли конкурировать с осевыми вентиляторами зарубежных фирм «Howden» и «TLT» из-за больших габаритных размеров и значительных капитальных затрат при строительстве вентиляторных установок.

Вентилятор ВО-42,5P3 разработан в нескольких исполнениях – в нагнетательном и всасывающем, с противосрывным и без противосрывного устройства, с горизонтальным и вертикальным расположением всасывающей коробки. По своим аэродинамическим и техническим характеристикам вентилятор ВО-42,5P3 превосходит все известные на сегодняшний день крупные центробежные и осевые вентиляторы, изготавливаемые в странах СНГ.

Таблица 2.

Технические характеристики вентилятора ВО-42,5P3 при частотах вращения 500, 600 и 750 об/мин

№	Наименование параметра	Значение параметра		
1	Частота вращения, мин ⁻¹	500	600	750
2	Диаметр ротора, мм	4250		
3	Номинальная подача, м ³ /с	355	450	535
4	Номинальное статическое давление, Па	3160	4700	7115
5	Максимальный полный КПД	0,87		
6	Максимальный статический КПД	0,85		
7	Подача в рабочей области, м ³ /с			
	- минимальная	125	150	185
	- максимальная	660	790	995
8	Статическое давление в рабочей области, Па			
	- минимальное	1200	1700	2700
	- максимальное	4110	5900	9250
9	Мощность привода, кВт	3150	4000, 5000	7000, 9500

Вентиляторы нового поколения серии ВО-Р разработаны по высокопроизводительной аэродинамической схеме НПК «Горные машины» с максимальным статическим КПД, равным 0,85, и максимальным полным 0,87. Подача воздуха при реверсировании составляет более 70 % от подачи при прямой работе вентилятора [4].

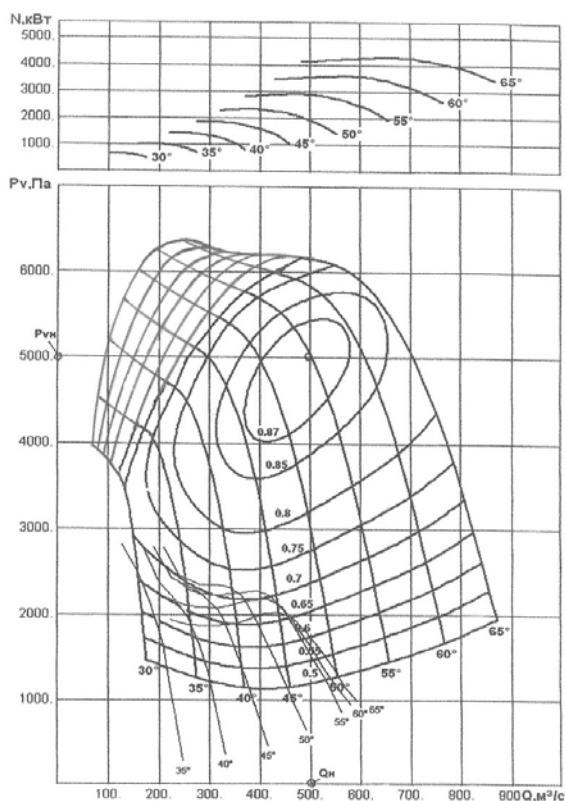


Рис. 1. Аэродинамические характеристики вентилятора ВО-42,5РЗ с противосрывным устройством при частоте вращения 600 об/мин

Рабочая область осевого вентилятора ВО-42,5РЗ (рис. 2) по подаче значительно превосходит рабочую область крупных центробежных вентиляторов ВЦД-47,5УМ и ВЦД-42,5 (рис. 3).

Вентилятор ВО-42,5РЗ (рис. 4) конструктивно состоит из ротора, включающего в себя вал с подшипниковыми узлами и одноступенчатое рабочее колесо, корпус с лопатками спрямляющего аппарата, привода спрямляющего аппарата и противосрывного устройства, кока, диффузора, входной коробки трансмиссионного вала, тормоза и системы смазки подшипниковых узлов ротора.

В разработанных вентиляторах ВО-42,5РЗ заложены самые передовые технологии изготовления, используемые лидерами мирового вентиляторостроения (корпус вентилятора подвергается отжигу, внутренняя поверхность корпуса механически обрабатывается для получения заданного размера, минимизируя зазор между рабочими лопатками и корпусом вентилятора с целью получения высокого КПД, все разъемы корпуса механически обработаны для исключения подсосов и утечек воздуха.

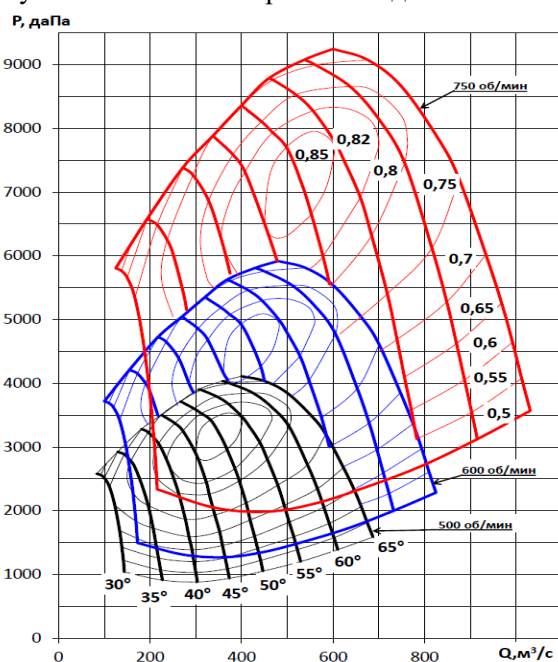


Рис. 2. Аэродинамические характеристики по статическому давлению вентилятора ВО-42,5РЗ без противосрывного устройства при частоте вращения 500, 600 и 750 об/мин

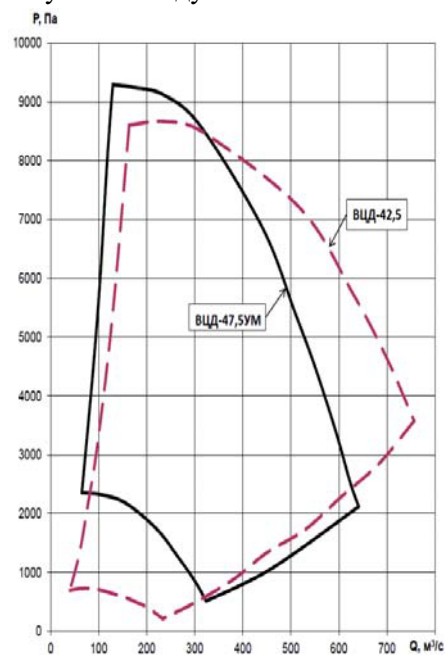


Рис. 3. Рабочие области экономичной эксплуатации крупных центробежных вентиляторов ВЦД-47,5УМ и ВЦД-42,5 с регулируемой частотой вращения привода

Рабочие лопатки изготавливаются из штампованного авиационного дюралюминия высокой прочности, не уступающие по прочности титановому сплаву с износостойким покрытием для повышения надежности в эксплуатации и увеличения срока службы.

В вентиляторе ВО-42,5РЗ применено противосрывное устройство лопаточно-кольцевого типа, установленного в нише корпуса вентилятора, что увеличивает рабочую область эксплуатации и обеспечивает при эксплуатации устойчивость работы на всех режимах в рабочей области вентилятора, а также увеличивает ресурс рабочих лопаток

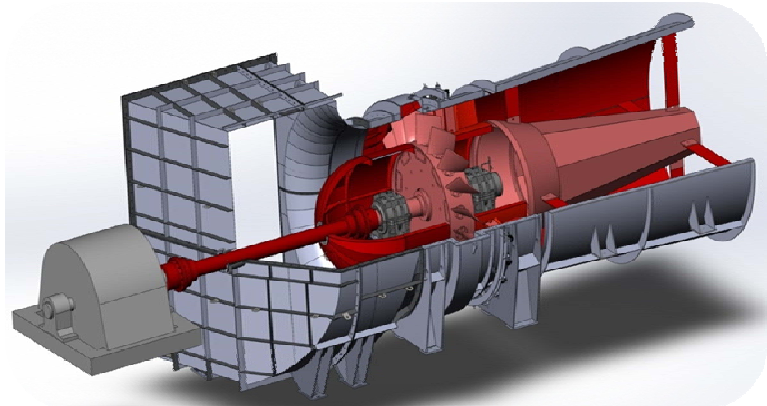


Рис. 4. Осевой реверсивный одноступенчатый вентилятор ВО-42,5РЗ нового поколения с противосрывным устройством

и снижает уровень звукового давления в машзале по сравнению с работой вентилятора без противосрывных устройств.

В роторе вентилятора применены радиальные и упорные сферические роликоподшипники с фиксированным креплением на валу ротора вентилятора для исключения проворота внутреннего кольца подшипника на валу.

Разработанная НПК «Горные машины» уплотняющая система эжекторного типа снижает температуру подшипников и исключает утечки масла из подшипниковых узлов ротора, создавая отрицательное давление в полостях подшипниковых узлов.

При разработке вентилятора ВО-42,5РЗ были применены самые современные методы частотно-прочностного расчета. Расчеты основных узлов вентилятора выполнялись в цветовых изополях эквивалентных напряжений. Частотный анализ

ротора вентилятора выполнен с определением собственных частот и сравнением их с частотами вынужденных колебаний с целью вычисления запаса по резонансу.

Ша

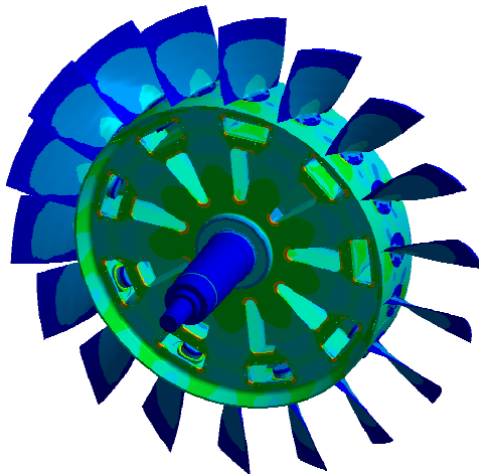
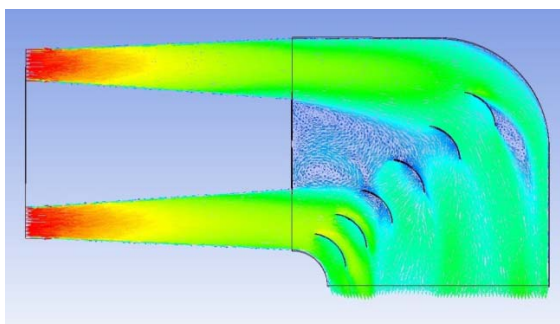
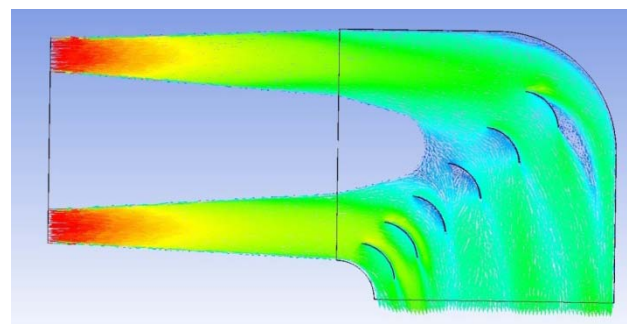


Рис. 5. Пример прочностного расчета ротора вентилятора ВО-42,5РЗ методом конечно-элементного прочностного анализа



Диффузор без обтекателя



Диффузор с обтекателем

Рис. 6. Пример расчета течения в элементах вентилятора. Трехмерное моделирование воздушного потока и расчет течения в элементах проточной части вентилятора

Вентиляторная установка с вентиляторами ВО-42,5Р2 и комплектом средств для реверсирования и переключения воздушной струи (КСРП) с лядами падающего типа представлена в двух вариантах.

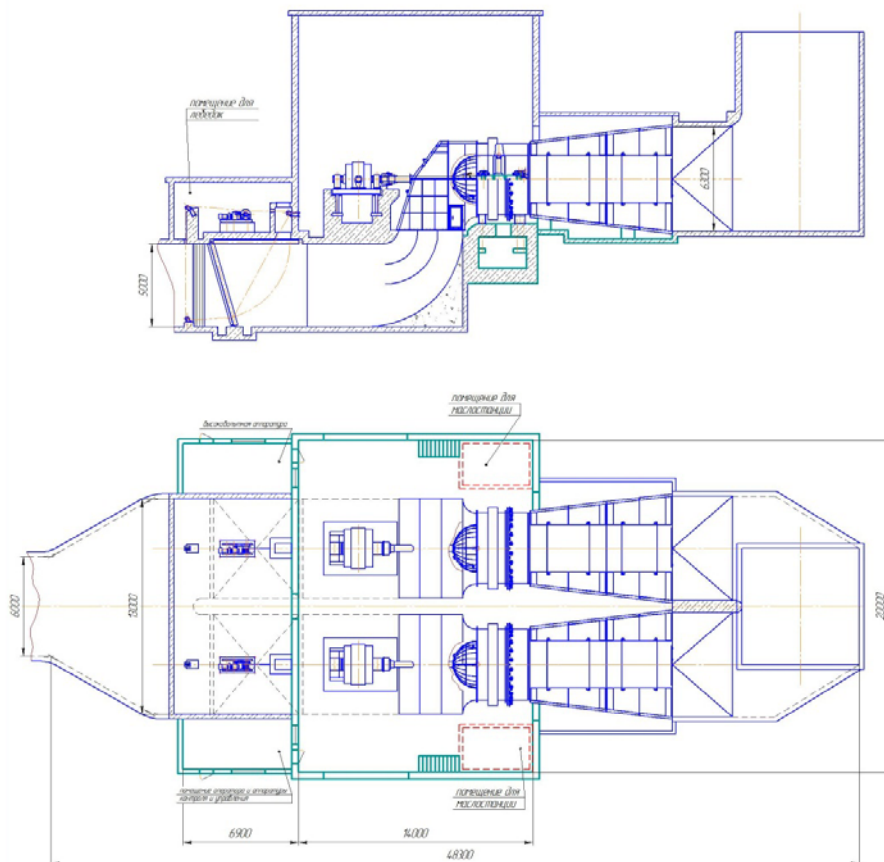


Рис. 7. Вентиляторная установка с вентиляторами ВО-42,5Р2 (всасывающая с вертикальными входными коробками)

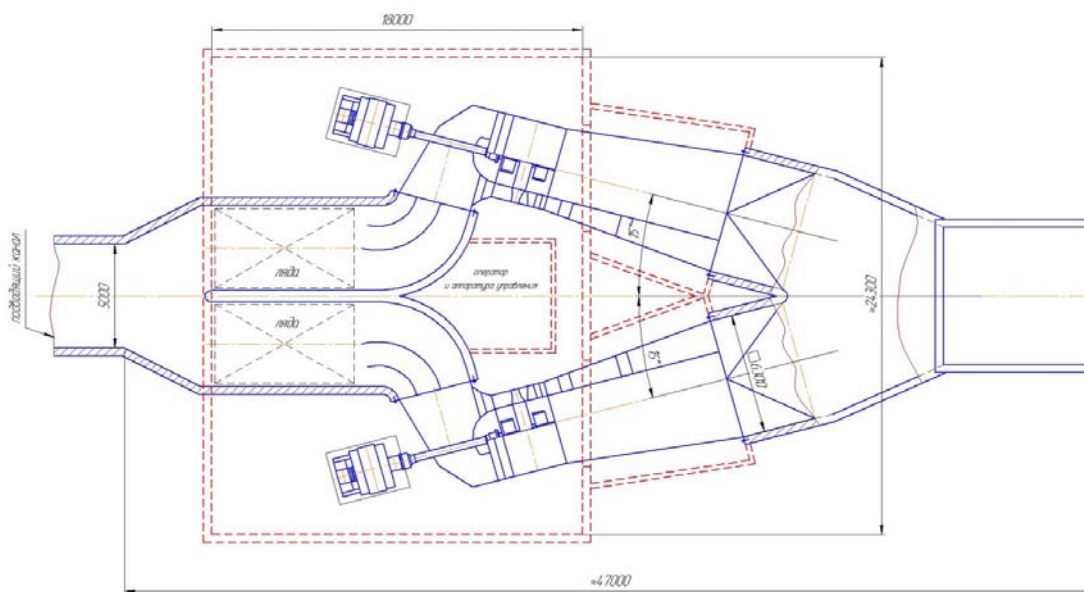


Рис. 8. Вентиляторная установка с вентиляторами ВО-42,5Р2 (всасывающая с горизонтальными входными коробками)

Компактная вентиляторная установка с вентиляторами ВО-42,5РЗ и КСРП с переключателями воздушного потока выполняется полностью из листового металлопроката с железобетонным подводящим каналом оптимального сечения и обеспечивает 100 % реверс вентиляторов двумя переключателями воздушного потока, что позволяет шахте сократить срок строительства вентустановки и минимизировать объем строительных работ.

Конструкция переключающих устройств не имеет горизонтальных площадок и ниш, что исключает скопление и заштыбровку угольной пылью уплотняющих элементов ротора переключателя. Конструкция переключающего устройства защищена авторским свидетельством СССР [1]. Установленные резиновые уплотнения на роторе переключателя выполнены с регулировкой по выдвигению, и их конструкция защищена авторским свидетельством СССР [2].

Такие уплотнения позволяют при эксплуатации исключить утечки воздуха, снизить удельные эксплуатационные расходы ($\text{м}^3/\text{кВт}$) и эксплуатировать вентилятор с высоким КПД.

Сборочные единицы всех металлоконструкций на заводе-изготовителе проходят контрольную сборку и совместную обработку отверстий во фланцах для обеспечения 100% собираемости узлов при монтаже, что позволяет снизить срок монтажа и ввода вентустановки в эксплуатацию.

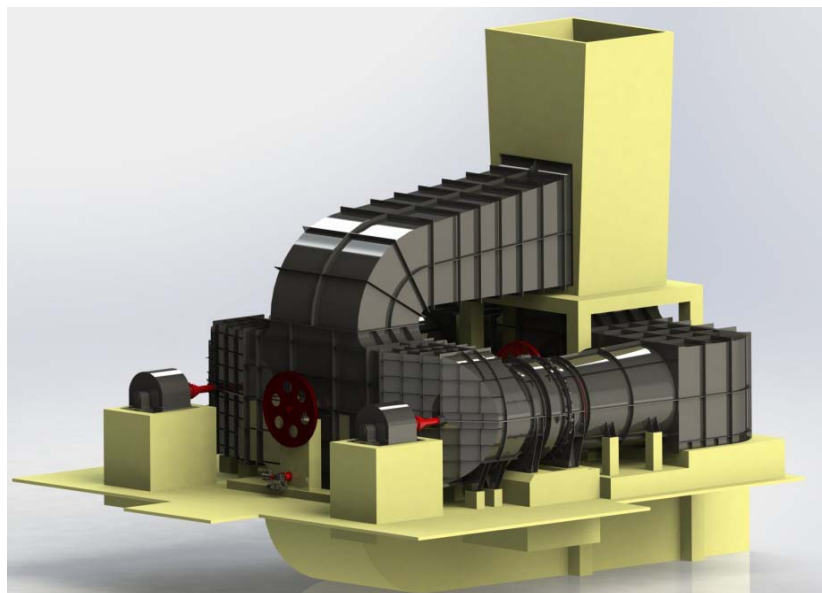


Рис. 9. Компактная вентиляторная установка без здания и укрытия

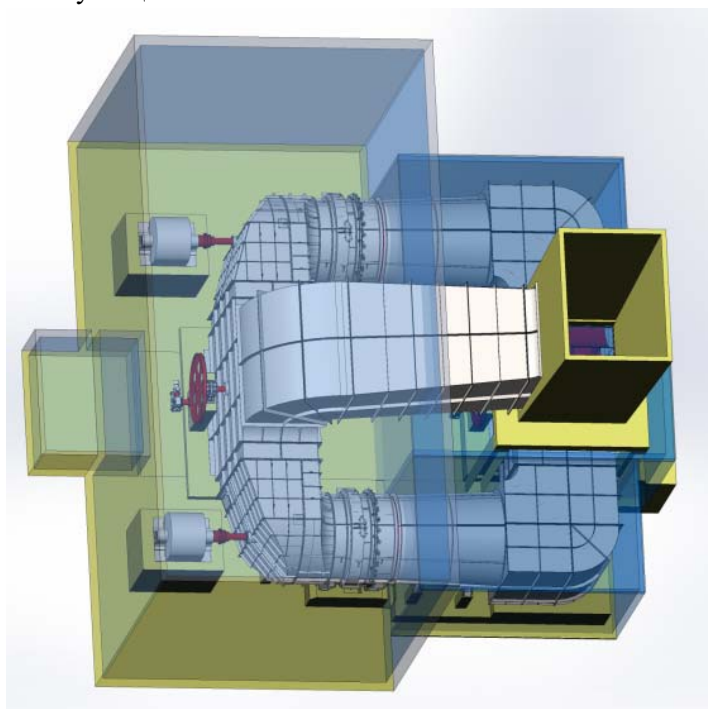


Рис. 10. Компактная вентиляторная установка в здании и с укрытиями

Переключатели воздушного потока с приводами от лебедок МРЛ-100 обеспечивают реверс вентилятора за 50 секунд без выключения электродвигателя вентилятора или переход с работающего вентилятора на резервный за 1 мин. 40 сек.

Приводные лебедки роторов переключателей имеют ручной привод для перевода в режим реверса или переключения на резервный вентилятор при обесточивании приводных лебедок, при этом на реверс затрачивается 3 мин. и на переключение – 6 мин., что удовлетворяет требованиям Правил безопасности (10 мин. на реверс или переключение).

Капитальные затраты при строительстве компактной вентиляторной установки снижаются примерно в 1,5 раза относительно стандартных

установок с осевыми вентиляторами и в 3 раза относительно установок с центробежными вентиляторами.

Срок строительства уменьшается примерно в 2-3 раза.

Утечки и подсосы воздуха снижаются в 2,5...3 раза.

Объем железобетона под фундаменты, диффузор и часть подводящего канала, находящегося под вентустановкой, составляет 672 м³.

Выводы и рекомендации.

1. Донецкий машиностроительный завод им. 15-летия ЛКУ (ныне ПАО «Донецкгормаш») в период с 1956 по 2009 годы был головным предприятием в СССР и позже в станах СНГ, которое разрабатывало, модернизировало и изготавливало как центробежные, так и осевые вентиляторы главного проветривания с диаметром рабочих колес от трех до пяти метров.

2. Учитывая требования современного рынка, где основными критериями, предъявляемыми к современным вентиляторам, стали эффективность, компактность, низкие капитальные и эксплуатационные затраты, НПК «Горные машины» разработал ряд современных осевых вентиляторов нового поколения серии ВО-Р, которые по вышеуказанным критериям превосходят ранее изготавливаемые центробежные и осевые вентиляторы.

3. Разработанные НПК «Горные машины» осевые реверсивные вентиляторы нового поколения серии ВО-Р найдут широкое применение как в горнодобывающей, так и в других отраслях промышленности.

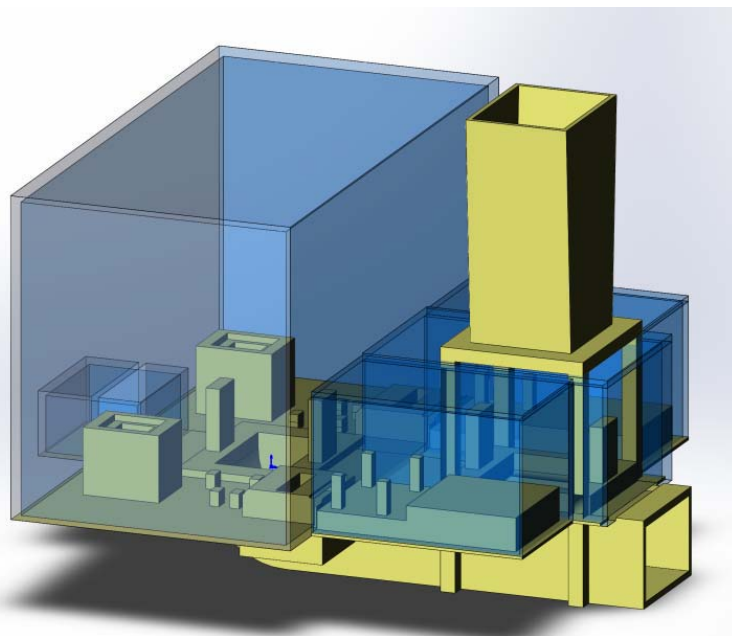


Рис. 11. Фундаменты компактной вентиляторной установки с вентиляторами ВО-42,5РЗ

Литература

1. А.с. SU 1027411 А СССР, МКл³Е21S1/08. Вентиляторная установка главного проветривания / А.В.Кузнецов, С.И.Демочко, В.В.Хиценко, Н.Т.Чепурной, Е.М.Малякин, Г.А.Бабак, В.П.Передерий (СССР). – №3418388/22-03; заявл.25.01.82; опубл. 07.07.83, Бюл.№25.
2. А.с. 898095 СССР, МКл³Е21F1/14. Устройство для герметизации шахтных вентиляционных ляд / Н.М.Горбатенко, А.В.Кузнецов, Е.М.Малякин, С.И.Демочко (СССР). – №2892734/22-03; заявл.11.03.80; опубл. 30.03.83, Бюл.№2.
3. Вентиляторы шахтные главного проветривания. Технические условия: ГОСТ 11004-84. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 33 с.
4. Брусиловский И.В. Аэродинамические схемы и характеристики осевых вентиляторов ЦАГИ: справочное пособие / И.В.Брусиловский. – М.: Недра, 1978. – 198 с.
5. Брусиловский И.В. Аэродинамика осевых вентиляторов / И.В.Брусиловский. – М.: Машиностроение, 1984. – 240 с.
6. Брусиловский И.В. Аэродинамический расчет осевых вентиляторов / И.В.Брусиловский. – М., Машиностроение, 1986. – 288 с.
7. Брусиловский И.В. Аэродинамика и акустика осевых вентиляторов / И.В.Брусиловский // Сб. ЦАГИ им. проф. Н.Е. Жуковского. – Вып. 2650.– М.: ЦАГИ им. проф. Н.Е. Жуковского, 2004. – С.276.
8. Бабак Г.А. Шахтные вентиляторные установки главного проветривания: справочник / Г.А.Бабак, К.П.Бочаров, А.Т.Волохов и др. – М.: Недра. – 1982. – 296 с.

*Статья рекомендована к публикации
канд. техн. наук Стешенко В.А.*