

УДК [622.44:621.63]:622.83:539.2/.8

Ширин Л.Н., д-р техн. наук, профессор
(ГВУЗ «НГУ»),
Шишов М.В., магистр
(ДТЭК)

**О ВЛИЯНИИ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ФАКТОРОВ НА РЕЖИМ РАБОТЫ ВЕНТИЛЯТОРОВ ГЛАВНОГО
ПРОВЕТРИВАНИЯ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ**

Ширін Л.Н., д-р техн. наук, професор
(ДВНЗ «НГУ»),
Шишов М.В., магістр
(ДПЕК)

**ПРО ВПЛИВ ГЕОМЕХАНІЧНИХ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ
НА РЕЖИМ РОБОТИ ВЕНТИЛЯТОРІВ ГОЛОВНОГО
ПРОВІТРЮВАННЯ ВУГІЛЬНОЇ ШАХТИ**

Shyrin L.N., D.Sc. (Tech.)
(SHEI «NMU»),
Shyshov M.V., M.S (Tech.)
(DJEK)

**ABOUT INFLUENCE OF GEO-MECHANICAL AND TECHNOLOGICAL
FACTORS ON THE MODE WORKS OF MAIN FANS OF COAL MINE**

Аннотация. Охарактеризованы вентиляторы главного проветривания, используемые на шахтах Донецкой топливно-энергетической компании, и причины, влияющие на эффективность их работы, и ее энергоэффективность в частности. Отмечено, что режим работы вентиляторов в значительной степени определяется аэродинамическими характеристиками шахтной вентиляционной сети, которые, в свою очередь, определяются технологическими параметрами и геомеханическими факторами ведения горных работ. Так, изменение площади поперечного сечения горных выработок (таким изменениям в наибольшей степени подвержены неподдерживаемые вентиляционные выработки) вызывает связанное с ним уменьшение расхода воздуха, в свою очередь влияющее на газовый режим выемочных участков и возможность возникновения на них аварийных ситуаций. Такая взаимосвязь вызывает необходимость изменения режима работы вентиляторов, в зону влияния которых входит рассматриваемый участок, и одновременного решения задач сохранения уровня энергоэффективности проветривания участка с учетом взаимовлияния работающих на нем вентиляторов главного проветривания (при условии работы каждого из них на характеристике из зоны промышленного использования). Предложен метод решения этой задачи с комплексным учетом требований безопасности и энергоэффективности проветривания.

Ключевые слова: вентиляторы главного проветривания, шахтная вентиляционная сеть, энергоэффективность, безопасность, геомеханические факторы.

На аэрогазодинамическое состояние шахтной вентиляционной сети (ШВС) оказывает влияние ряд геомеханических и технологических факторов, результатом чего является изменение во времени эффективности ее работы.

При проектировании вентиляционной системы в нее закладываются требуемые характеристики шахтной вентиляционной сети (ШВС) и, следовательно, требуемый тип ВГП. Тем самым на начальном этапе эксплуатации как ШВС, так и ВГП будут работать в энергоэффективном режиме. Однако в ходе развития горных работ ситуация будет меняться, поскольку на процесс проветривания начнут влиять технологические и геомеханические факторы угледобычи. Тем самым вынужденно изменится требуемый режим работы ВГП, и необходимо будет адаптировать его к новым условиям эксплуатации с учетом указанных факторов.

Характеристика парка ВГП шахт ДТЭК приведена в табл. 1.

Таблица 1 – Характеристика парка ВГП шахт ДТЭК

Вентиляторная установка	Шахта	Расположение	H , мм. вод.ст.	Q , м ³ /мин	Q в шахту, м ³ /мин	Внешние приточки м ³ /мин	T , лет
1	2	3	4	5	6	7	8
ВОД30М2	Павлоградская	Главный ствол	290	14245	12510	1735	2
	Степная	Скип. ствол	330	6200	5300	900	4
	Юбилейная	Главный ствол	360	9310	7510	1800	9
Howden L5N	Терновская	Главный ствол	235	8808	6486	2322	2
ВОД21М	Терновская	Вент ствол № 2	220	4518	4104	414	8
ВОД21	Алмазная	Ствол № 18	160	2820	1750	1070	26
ВОД30М	Благodatная	Главный ствол	180	10800	9000	1800	10
ВЦД47,5У	Степная	Вент. ств. бл. 2	395	16800	15700	1100	12
ВЦ25	Юбилейная	Вент. скв. № 1	340	4010	3210	800	22
ВО21-14Д	Юбилейная	Вент. скв. № 3	390	4360	3760	600	2
ВЦД47Н	им. Н.И. Сташкова	Главный ствол	235	13388	11388	2000	30
	Западно-Донбасская	Гл. ствол бл. 3	455	13437	11054	2383	16
ВЦД-31,5М	им. Н.И. Сташкова	Вент. скважина	445	5044	4517	527	12
	Днепроvская	Вент. скважина	430	5420	4580	840	5
	Белозерская	Шурф № 4 (5)	510	5500	4400	1100	37
ВРЦД4,5	Днепроvская	Скип. ствол	370	12400	9840	2560	39
	Западно-Донбасская	Гл. ствол бл. 1	545	22779	18379	4400	34
	Белицкая	Вент. ствол 1	120	6480	4790	1690	43
ВЦД31,5	Самарская	Скип. ствол	418	13628	11528	2100	29
	Добропольская	Ствол № 4	370	8761	7661	1100	33
	Новодонецкая	Шурф № 3	480	6450	5550	900	34
	Белозерская	Шурф № 3	400	7500	4910	2590	41
ВО16-10	Самарская	Вент. ствол 3	338	4440	3844	596	3

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
ВОКД2,4	Добропольская	Ствол № 1	210	2544	1944	600	40
	Новодонецкая	Шурф № 1	240	3885	3235	650	49
		Шурф № 2	165	3060	2510	550	49
ВЦД31,5М2	Добропольская	Вент. скв. 5	580	7635	6975	660	8
	Алмазная	Ствол № 20	510	7750	5750	2000	6
ВОД18	Новодонецкая	Гл. ствол	70	1700	1370	330	22
	Пионер	Гл. ствол 2	342	3960	2830	1130	28
ВЦД32	Пионер	Вент. скважина	585	7020	5220	1800	45
ВЦ32	Белозерская	Скип. ствол 3	60	2500	1800	700	42
ВРЦД4,5СМ	Героев Космоса	Главный ствол	400	22668	19374	3294	3

Анализ таблицы показывает, что в целом на шахтах ДТЭК наблюдается тенденция к старению вентиляционного парка. Если условно принять нормативный срок службы вентиляторной установки равным 20 годам, то он превышен 53 % ВГП, а на шахтах ЧАО «Добропольеуголь» приближается к 50 годам. Причем вследствие снижения герметичности надшахтных сооружений имеют место внешние приточки, значительно превышающие нормативные значения. Например, на шахте «Алмазная» на ВГП ВОД21 внешние приточки составляют более 60 % поступающего в шахту воздуха, на шахте «Белозерская» на ВГП ВЦД31,5 – 53 %. Такие показатели, естественно, снижают энергоэффективность проветривания, а при условии развития горных работ, повышения нагрузки на очистные забои, усложнения проветриваемых ШВС необходимо принятие эффективных мер по совершенствованию и повышению эффективности парка ВГП.

Многолетним опытом эксплуатации ВГП установлено, что параметры ШВС за время эксплуатации шахты изменяются в 3-4 раза по давлению и 2,5-3 раза по производительности. Причем одним из этапов эксплуатации шахт предусмотрена реконструкция ВГП, обусловленная не только физическим износом оборудования, но и развитием фронта горных работ.

Одним из путей решения этой задачи является замена устаревших ВГП новыми, более совершенными моделями. При проектировании этот вопрос не ставится, в проект закладывается именно тот тип ВГП, который обеспечит требуемые технико-экономические показатели работы шахты на период наиболее интенсивной ее работы. Разнообразие типов изготавливаемых ВГП (НИИГМ им. М.М. Федорова спроектированы и изготовлены [1] радиальные ВГП для проветривания шахт и рудников ВЦ11; ВЦР1,6; ВЦ25; ВЦ32; ВЦ31,5; ВЦД31,5; ВЦД40; ВЦД47«Север»; ВЦД47У; ВЦД47,5УМ; ВЦ31,5М2; ВЦД31,5М2) позволяет выбирать для проектируемой шахты или для эффективной замены существующих ВГП с необходимыми значениям напора и производительности. По экономичности (статические к.п.д. составляют 0,84÷0,85) и другим техническим показателям перечисленные ВГП превосходят ранее применявшиеся. На шахтах ДТЭК нашли наибольшее применение ВГП ВЦД-31,5 (шахты «Самар-

ская», «Добропольская», «Новодонецкая», «Белозерская»), ВЦД47У (шахты им. Н.И. Сташкова, «Западно-Донбасская»), ВЦД31,5М2 (шахты «Добропольская», «Алмазная»).

Однако реконструкция вентиляторной установки с заменой ВГП – мера достаточно дорогостоящая и не всегда доступная горному предприятию. Поэтому значительное внимание уделяется адаптации существующих ВГП к изменяющимся условиям эксплуатации.

Сравнительный анализ компоновочных решений поверхностных комплексов ВГП [5] показывает следующее распределение полезной работы и потерь энергии в элементах поверхностного комплекса: полезная работа – 25%; потери в вентиляторе – 55%; потери в каналах – 15%; потери в приводе – 5%. Сосредоточение наибольшей величины потерь энергии в самом вентиляторе свидетельствует о том, что высокоэкономичные (по проектным характеристикам) вентиляторы находятся в работе на неоптимальных режимах с низким к.п.д. Причина тому – изменение аэродинамических характеристик ШВС в период эксплуатации и ограничение параметрического ряда перекрытия ВГП поля шахтных вентиляционных режимов. Другим аспектом несовершенства компоновочных схем поверхностного комплекса являются потери в нем, связанные с раздельным рассмотрением подсистем «ВГП» и «ШВС» единой вентиляционной системы шахты. Поэтому обеспечение энергоэкономически выгодной эксплуатации ВГП требует технической адаптации составляющих ее элементов к рассмотрению в комплексе функционирования ШВС и обслуживающих ее ВГП.

Основными показателями при этом являются техническая и аэродинамическая адаптивность. В плане взаимодействия ВГП и ШВС определяющим является второй показатель, характеризующий возможность с минимальными энергетическими затратами менять аэродинамические параметры машины и определяемый глубиной экономичного регулирования по давлению, производительности и коэффициентом аэродинамической нагруженности ВГП. Фактическое состояние шахтного вентиляторостроения свидетельствует о том, что традиционные методы улучшения аэродинамических параметров ВГП путем совершенствования формы профилей лопаток рабочих колес (в частности, разработанные НИИГМ им. М.М. Федорова взамен существовавших ранее аэродинамических схем с радиально оканчивающимися и слегка загнутыми назад листовыми лопатками (ВГП ВЦО и ВЦД) схемы Ц35-20 и Ц35-15 с загнутыми назад профильными лопатками (описанные выше ВЦ, ВРЦД и др.)) практически исчерпали свои возможности, а дальнейшее увеличение их габаритов и окружной скорости вращения ротора ограничено технологическими возможностями производства, эксплуатации и прочностными характеристиками. Поэтому основным средством совершенствования ВГП является их аэродинамическая адаптивность: использование активных методов управления аэродинамическими процессами в проточной части вентилятора, радиального смещения потоков, изменением компоновочных решений поверхностного комплекса вентиляторной установки и др. Однако они решают лишь технические вопросы повышения энергоэффективности собственно ВГП без учета его взаимодействия и

взаимовлияния с ШВС. Аэродинамическая адаптивность характеризуется тремя взаимосвязанными критериями:

- активной аэродинамической адаптивности, характеризующей способность с минимальными энергозатратами обеспечивать переменные вентиляционные режимы;

- пассивной адаптивности, характеризующей стабильность аэродинамической изоляции очистной выработки от выработанного пространства (ВП) в условиях колебания параметров комбинированной многосвязной вентиляционной системы ВГП – ШВС (используется при решении задачи создания «нулевой зоны» равенства давлений на границах ВП с целью снижения поступления метана из него в вентиляционные выработки выемочного участка);

- функциональной адаптивности, характеризующий степень согласованности аэродинамических характеристик ВГП с параметрами ШВС, из которых только последний каким-то образом связан с учетом динамики ШВС, да и то лишь в привязке к ее взаимодействию с ВП.

С.П. Тимухиным [2] предложен комплексный критерий энергетической эффективности η_y ВГП, как целостной системы, обобщающий и развивающий ранее известные подходы, в виде

$$\eta_y = \frac{0,25 \cdot \eta_{ЭС} \cdot \eta_{ПР} \cdot \rho^2 \cdot V_{ш}^2 \cdot V_{к}^2 \cdot P_{SV} \cdot Q_{П}}{P_{к} \cdot P_{ш} \cdot N_V}, \quad (1)$$

где $\eta_{ЭС}, \eta_{ПР}$ - к.п.д. элементов ВГП; ρ – плотность воздуха; $V_{ш}$ – скорости воздуха в элементах ШВС; $V_{к}$ – скорость воздуха в канале ВГП; $P_{ш}$ – полная депрессия ШВС; $P_{к}$ – депрессия канала ВГП; P_{SV} – статическое давление ВГП; $Q_{П}$ – количество воздуха, полезно расходуемого на проветривание (т.е. фактическое количество воздуха, проветривающего горные выработки); N_V – входная мощность ВГП.

Критерий (1) наглядно отражает связь между конечной целью использования ВГП (обеспечением достаточности $Q_{П}$) и уровнем энергетической эффективности ВГП η_y , а также степень соблюдения требований Правил безопасности в угольных шахтах [3] и Правил технической эксплуатации угольных шахт [5] в части выполнения условий

$$V_{ш} \leq V_{ш}^{ПБ}, \quad V_{к} \leq V_{к}^{ПБ}, \quad P_{к} \leq 0,1 P_{к}^{ПБ}, \quad \frac{Q_{ш}}{Q_{в}} \geq 0,9. \quad (2)$$

Анализ этого критерия свидетельствует о решающей роли аэродинамического сопротивления вентиляционной сети (ее депрессии) в повышении энергоэффективности ВГП с учетом требований [3] и [4], т.е. условий безопасного проветривания, т.е. предполагает удовлетворение обоих требований.

Требуемые значения расходов воздуха $Q(i,j)$ и скорости воздуха $V(i,j)$ в выработках ШВС (i,j) предполагают известными значения их аэродинамического сопротивления $R(i,j)$, которое может быть определено на основании результатов

воздушно-депрессионной съемки ШВС или аналитически; в наиболее общем виде известная формула для определения $R(i,j)$ имеет вид

$$R(i, j) = \frac{\beta(i, j) \cdot \rho(i, j) \cdot L(i, j) \cdot P(i, j)}{2S^3(i, j)}, \quad (3)$$

где $\beta(i,j)$ – безразмерный коэффициент трения, учитывающий шероховатость стенок выработки; $\rho(i,j)$ – плотность воздуха в (i,j) , ее длина, площадь поперечного сечения и периметр соответственно.

Из формулы (3) следует, что для определения $R(I,j)$ необходимо использовать не только $L(i,j)$, постоянное для всего периода эксплуатации (I,j) , но и $P(i,j)$, $S(i,j)$, $\rho(i,j)$, изменяющиеся во времени и зависящие: $P(I,j)$, $S(I,j)$ – от проявлений горного давления, что особенно заметно в неподдерживаемых вентиляционных выработках, $\rho(I,j)$ – от горно-геологических (глубина залегания (I,j)) и горнотехнических (повышение температуры в процессе работы машин и механизмов, участвующих в процессе угледобычи). Кроме того, на величину $R(I,j)$ влияет наличие в выработках местных аэродинамических сопротивлений (поворотов, загромождений выработок углем и породой, нахождение в них элементов крепи, механизмов и транспортных средств). Вследствие перечисленных особенностей $R(I,j)$ является величиной переменной во времени, и изменения его способны существенно повлиять на аэродинамические характеристики ШВС в целом, а значит – и на режим работы ВГП и его энергоэффективность.

Таким образом, решение задачи повышения энергоэффективности работы ВГП на ШВС может быть получено последовательным и совместным решением следующих задач:

1. Оценки существующего парка шахтных ВГП по критериям старения и соответствия его изменяющимся требованиям горного производства.
2. Оценки возможности и эффективности адаптации ВГП к изменению условий работы по критериям технической и аэродинамической адаптивности. В случае обоснованности такой возможности – выработать рекомендации и принять меры по совершенствованию ВГП и вентиляторной установки в целом.
3. Исследования имеющихся резервов ВГП и возможностей их использования для совершенствования вентиляционной системы с соблюдением требований безопасности проветривания.
4. Исследования ШВС с целью оптимизации ее аэродинамических параметров и сокращения непроизводительного использования воздуха, подаваемого в шахту ВГП.
5. Совершенствования функционирования комплексной системы ВГП и ШВС с целью обеспечения максимального использования имеющихся резервов для повышения энергоэффективности проветривания с выполнением требований его безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основные направления повышения энергоэффективности шахтных вентиляторных установок главного проветривания / В.В. Грядущая, В.А. Стешенко, А.В. Бугаев [и др.]// Уголь Укра-ины. –

2014. - № 8. – С. 42-46.

2. Тимухин, С.А. Обоснование и обеспечение рациональных режимов эксплуатации шахтных главных вентиляторных установок: автореферат дис... д-ра техн. наук: 05.05.06, защищена 5.06.1998 / Тимухин С.А.. – Екатеринбург: Уральская государственная горно-геологическая академия, 1998. – 38 с.

3. Правила безпеки у вугільних шахтах: НПАОП 10.0-1.10.10. – [Дійсн. від 22.03.2010]. - Офіційне видання. - Київ: Основа, 2010.- 430 с. - (Нормативний документ Мінвуглепрому України. Стандарт).

4. Правила технічної експлуатації вугільних шахт: СОУ 10.1-00185790-002-2005. – [Чинний від 2006-11-14]. – К.: Міненерговугілля України, 2006. – 354 с. (Нормативний документ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України. Стандарт).

5. Копачев, В.Ф. Влияние адаптивных свойств вентиляторов на эксплуатационную эффективность поверхностных комплексов главных вентиляторных установок / В.Ф. Копачев // Известия УГТА. Серия: Горная электромеханика. – 2015. - № 4. – С. 115-123.

REFERENCES

1. Gryadushchaya, V.V., Steshenko V.A., Bugayev A.V. and Shevchenko, Ya.K. (2014), “Basic directions increase of energy-effectiveness of main fans”, *Coal of Ukraine*, no. 8, pp 42-46.

2. Timukhin, S.A. (1998), “Ground and providing of the rational modes of exploitation of mine main fans options”: abstract of Ph.D. dissertation, 05.05.06, Ural State Mining-geological academy, Yekaterinburg, Russia.

3. Ukraine Ministry of Coal Industry (2010), 10.0-1.10.10. *Pravyla bezpeky u vugilnykh shakhtakh: Normativnyu document Minugleproma Ukrainy. Standart* [10.0-1.10.10. Safety in Coal Mines: Regulatory Document Coal Industry of Ukraine. Standard], Ukraine Ministry of Coal Industry, Kiev, Ukraine.

4. Ukraine Ministry of Coal Industry (2006), 10.1-00185790-002-2005 *Pravyla tekhnichnoy ekspluatatsiy vugilnykh shakht: Normativnyu document Minugleproma Ukrainy. Standart* [10.1-00185790-002-2005 Rules of technical exploitation of coal mines: Regulatory Document Coal Industry of Ukraine. Standard], Kiev, Ukraine.

5. Kopachyov, V.F. (2015), “Influence of adaptive properties of ventilators on operating efficiency of superficial complexes of main fans options”, *UGTA News. Series: Mine Electromechanics*, no. 4, pp 115-123.

Об авторах

Ширин Леонид Никифорович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой транспортных систем и технологий, ГВУЗ «Национальный горный университет» (ГВУЗ «НГУ»), Днепр, Украина, bunko2017@ukr.net.

Шишов Максим Валерьевич, магистр, руководитель Департамента по техническому развитию Дирекции по добыче угля ДТЭК ЭНЕРГО, Киев, Украина, bunko2017@ukr.net.

About the authors

Shyrin Leonid Nikiforovich, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Professor, Head of the Department, State Higher Educational Institution "National Mining University" (State HEI «NMU»), Dnepr, Ukraine, bunko2017@ukr.net.

Shyshov Maksim Valerievich, Master of Science, Head of Technical Development Department Coal Production directorate DFEK Energy, Kiev, Ukraine, bunko2017@ukr.net.

Анотація. Охарактеризовано вентилятори головного провітрювання, що використовуються на шахтах Донецької паливно-енергетичної компанії, і причини, що впливають на ефективність їх роботи, і її енергоефективність зокрема. Відзначено, що режим роботи вентиляторів в значній мірі визначається аеродинамічними характеристиками шахтної вентиляційної мережі, які, у свою чергу, визначаються технологічними параметрами і геомеханічними чинниками ведення гірничих робіт. Так, зміна площі поперечного перетину гірничих виробок (до таких змін найбільш схильні невідтримувані вентиляційні виробки) викликає пов'язане з ним зменшення витрати повітря, що, в свою чергу, впливає на газовий режим виїмкових ділянок і можливість виникнення на них аварійних ситуацій. Такий взаємозв'язок ви-

кликає необхідність зміни режиму роботи вентиляторів, до зони впливу яких входить ділянка, що розглядається, і одночасного рішення задач збереження рівня енергоефективності провітрювання ділянки з урахуванням взаємовпливу працюючих на неї вентиляторів головного провітрювання (за умови роботи кожного з них на характеристиці із зони промислового використання). Запропоновано метод розв'язання цієї задачі з комплексним урахуванням вимог безпеки і енергоефективності провітрювання.

Ключові слова: вентилятори головного провітрювання, шахтна вентиляційна мережа, енергоефективність, безпека, геомеханічні чинники.

Abstract. The main fans, used on the mines of Donetsk fuel and energy company, and the reasons, influencing on effectiveness of their works, and its energy-effectiveness in particular, were described. It was marked, that the mode of working of main fans is largely determined by aerodynamic parameters of mine ventilation networks, which, in same queue, are determined by technological parameters and geomechanical factors of mine works conduction. So, the change of area of transversal section of the mine workings (subject to such changes in most degree are the unsupported ventilation workings) causes related to him decrease expense of air, in the turn influencing on the gas mode of working areas and possibility of origin on them emergency situations. Such interconnection causes the necessity changes of operations of main fans, for the area of its interaction area is included, and simultaneous solution the problem of saving level of energy-effectiveness ventilation of area taking into account influence of main fans, working for him (on condition work of each of them on description from the area of the industrial use). The method of decision of this task with the complex account of requirements of safety and energy-effectiveness of ventilation was offered.

Keywords: main fans, mine ventilation network, energy-effectiveness, safety, geo-mechanical factors.

Стаття поступила в редакцію 18.03.2017

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук Минеевым С.П.