

Клименков А.В., аспирант (НИИГМ им. М.М. Федорова)

РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК АНКЕРНЫХ БОЛТОВ ПОДШИПНИКОВЫХ ОПОР РОТОРОВ ШАХТНЫХ РАДИАЛЬНЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ

У статті наведений розрахунок статичних навантажень фундаментних анкерних болтів підшипникових опор роторів шахтних радіальних вентиляторів головного провітрювання.

В статье приведен расчет статических нагрузок фундаментных анкерных болтов подшипниковых опор роторов шахтных радиальных вентиляторов главного проветривания.

In the article given the calculation of the static load of the fundamental anchor bolts of the bearing support of the rotors of the mining radial vents of the main airing.

КС: шахтные радиальные вентиляторы главного проветривания, подшипниковые опоры, фундаментные анкерные болты, роторы, статическая нагрузка.

Постановка проблемы и ее связь с важными научными или практическими задачами. Основным средством, обеспечивающим атмосферные условия в подземных горных выработках, являются вентиляторные установки главного проветривания. Повышение требований к шахтной вентиляции обуславливает, в свою очередь, повышение требований к шахтным вентиляторным установкам главного проветривания, основным элементом которых являются вентиляторы, значительно превышающие нормативные сроки службы в отношении их надежности и безопасности эксплуатации. В статье отражены вопросы статического нагружения фундаментных анкерных болтов шахтных радиальных вентиляторов главного проветривания, дающие основания для расчета диаметра и длины анкерных болтов для крепления подшипниковых опор к фундаментам вентиляторов, что, в свою очередь, является важным критерием для определения допустимых динамических нагрузок подшипниковых опор роторов шахтных радиальных вентиляторов главного проветривания, нормативный срок службы которых в соответствии с заводской документацией истек.

Цель статьи – провести расчет статического нагружения фундаментных анкерных болтов шахтных радиальных вентиляторов главного проветривания.

Изложение основного материала. На основании теоретических исследований, изложенных в работе [1], получено трансцендентное уравнение, описывающее взаимодействие нагруженного продольной силой анкерного болта с упругой средой его бетонной заделки. Численное решение этого уравнения позволяет определить минимальную глубину заделки анкерных болтов в зависимости от их диаметра и прочностных характеристик бетона или допускаемую продольную нагрузку на них, которые обеспечивают надежную в эксплуатации конструкцию пары «анкерный болт-бетон». При этом расчет предусматривает статическую продольную нагрузку на анкерные болты, закрепляющие опорную металлическую плиту к бетону.

В теоретической части работы [1] трансцендентное уравнение выражается так:

$$U(X) = \frac{R}{EFa\sqrt{\alpha}sh(\sqrt{\alpha}X)} \operatorname{ch} \sqrt{\alpha} X, \quad (1)$$

где $U(X)$ – функция продольного перемещения точек стержня (анкерного болта) при закреплении металлической плиты к железобетонному фундаменту; R – максимальная осевая нагрузка, вырывающая анкерные болты из бетона; α – некоторое соотношение, где

$$\alpha = \frac{K\pi D}{EF_a},$$

в котором К – коэффициент жесткости сдвига среды [4]; Д – наружный диаметр анкерного болта; Fa – площадь поперечного сечения анкерного болта; Е – модуль упругости при растяжении анкерного болта.

Если предложить гипотезу о линейной связи между интенсивностью реакции $g(x)$ материала заделки и продольными перемещениями точек стержня, то $g(x)$ выразится следующей зависимостью:

$$g(x) = K\pi D U(X), \quad (2)$$

где К – коэффициент жесткости сдвига среды [2]; Д – наружный диаметр анкерного болта; U(X) – функция продольного перемещения точек анкерного болта.

Но так как

$$P = \frac{dU(x)}{dx} EF_a, \quad (3)$$

получаем дифференциальное уравнение

$$\frac{d^2U}{dX^2} = \frac{K\pi D \cdot U(X)}{EF_a}, \quad (4)$$

которое записываем в виде

$$\frac{d^2U}{dX^2} = \alpha U(X), \quad (5)$$

а характеристическое уравнение которого запишем в виде

$$r^2 - \alpha = 0, \quad (6)$$

корнями которого являются $r_1 = \sqrt{\alpha}$; $r_2 = -\sqrt{\alpha}$.

Если умножить левую и правую части уравнения (1) на коэффициент жесткости сдвига среды К, то получим закономерность напряжений $\tau(x)$ сдвига по поверхности контакта материала заделки и анкерного болта на интервале всей его длины $0 \leq X \leq C$ или

$$\tau(x) = \frac{R \cdot K}{EF_a \sqrt{\alpha} sh(\sqrt{\alpha} \cdot \ell)} \operatorname{ch} \sqrt{\alpha}x. \quad (7)$$

Для максимального значения функции $\operatorname{ch} \sqrt{\alpha}x$ в интервале $0 \leq X \leq C$ получаем $X = \ell$.

В связи с исследованиями допустимых напряжений путем замены $\operatorname{ch} \sqrt{\alpha}x$ на $\operatorname{ch} \sqrt{\alpha}\ell$, а $\tau(x) = \tau(\ell)$, получим, что допустимое напряжение $[\tau]$ бетона на срез выражается следующей зависимостью:

$$[\tau] = \frac{RK}{EF_a \sqrt{\alpha}} \operatorname{cth}(\sqrt{\alpha} \cdot \ell). \quad (8)$$

При решении вопросов, связанных с конструированием узлов, имеющих анкерные болты, взаимодействующих с бетонными частями, для обеспечения прочности этих узлов необходимо выполнить два условия.

1. Надежность сопряжения анкерного болта с бетоном, при котором максимальные напряжения в точках контакта его боковой поверхности с бетоном будут меньше или равны допускаемым напряжениям бетона на срез.
2. Прочность анкерного болта на растяжение от действия продольной нагрузки R.

Первому условию прочности соответствует уравнение (8), а для обеспечения второго условия необходимо заменить нагрузку R выражением [2]:

$$R = \frac{\pi D p^2}{4} [\sigma] = \frac{\pi (0,8D)^2}{4} [\sigma] = 0,5024 D^2 [\sigma], \quad (9)$$

где D_p – расчетный диаметр анкерного болта, равный $D_p=0,8D$, [2]; $[\sigma]$ – допустимое напряжение металла анкерного болта на растяжение.

Для материала, например, Ст.3 параметр допустимого напряжения $[\sigma] = 1700 \text{ кг.см}^{-2}$ [3]. Заменив в уравнении (8) нагрузку R выражением (9), получим уравнение, удовлетворяющее обоим условиям прочности, т.е.

$$[\tau] = \frac{0.64[\sigma] \cdot K}{E\sqrt{\alpha}} \operatorname{cth}(\sqrt{\alpha} \cdot \ell). \quad (10)$$

Уравнение (10) относится, как и (1), к классу трансцендентных уравнений, так как неизвестная глубина заделки ℓ анкерного болта является одним из аргументов гиперболической функции.

Для численного решения этого уравнения разработан алгоритм метода половинного деления, по которому составлена программа на языке Турбо-Паскаль 7.0. Реализация программы осуществляется на ПЭВМ [8]. Один из примеров схемы расчета анкерных болтов приведен на рис. 1.

Теоретически определены длина анкерного болта ℓ , его диаметр D в зависимости от максимально допустимой осевой нагрузки, воздействующей на анкерный болт (рис. 2).

На рис. 3. показан шахтный вентилятор главного проветривания, который имеет двухдвигательный привод, его максимальный статический КПД составляет 0,85, подача $400 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ и статическое давление 750 да Па вnominalном режиме.

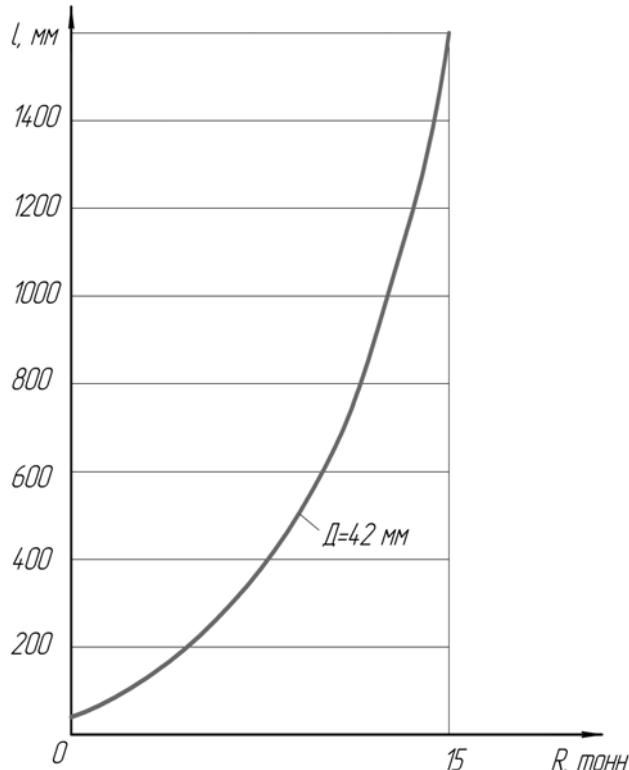


Рис. 2. Зависимость длины и диаметра болта от предельной осевой нагрузки R

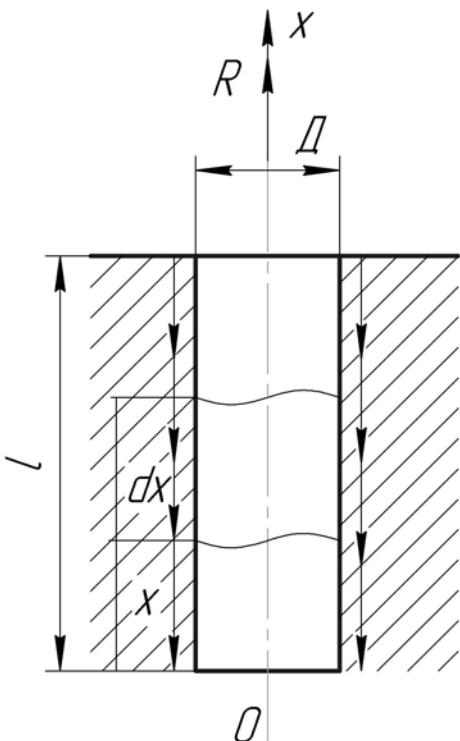


Рис. 1. Расчетная схема анкерного болта при воздействии на него растягивающей нагрузки R

Для двухдвигательного привода этого вентилятора применены направляющие аппараты, не имеющие опорного кольца над главным валом для соединения концов лопаток ОНА, что повышает надежность эксплуатации аппаратов при установке лопаток ОНА на требуемый угол поворота. На рис. 3 показано, что количество анкерных болтов на электродвигателях равно 8 шт., на подшипниках ротора вентилятора также 8 шт. (на каждом подшипнике по 4 шт.).

Масса ротора вентилятора ВЦД-47,5УМ составляет около 50 тонн [9].

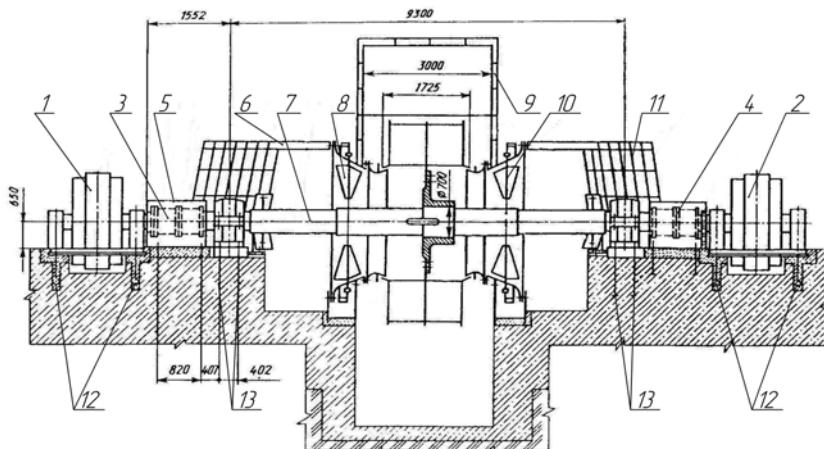


Рис. 3. Вентилятор ВЦД-47,5 УМ с анкерными болтами подшипников электродвигателей и вентилятора: 1, 2 – электродвигатели; 3, 4 – зубчатые муфты; 5 – ограждение муфты; 6 – левое входное устройство (коробка); 7 – ротор; 8 – левый направляющий аппарат; 9 – корпус; 10 – правый направляющий аппарат; 11 – правое входное устройство (коробка); 12 – анкерные болты подшипников электродвигателей; 13 – анкерные болты подшипников вентилятора

Выводы.

1. Глубина заделки анкерного болта по отношению к предельной нагрузке R , приложенной к нему, является нелинейной функцией.

2. Теоретические расчеты допустимых нагрузок на анкерные болты, геометрические размеры диаметров и глубины заделки болтов могут быть рекомендованы для конструкторов, проектировщиков и специалистов заводов-изготовителей вентиляторов главного проветривания шахт и рудников. Следует отметить, что монтаж и наладка подшипниковых узлов роторов вентиляторов с помощью анкерных болтов, соединенных с бетонными фундаментами, на которых смонтированы электродвигатели и роторы вентиляторов, являются сложной задачей. От их безаварийной работы зависит безопасная эксплуатация вентиляторов и всего вентиляционного комплекса шахты.

3. Проведенное теоретическое исследование [1,5,6] и расчет геометрических параметров анкерных болтов в бетонных фундаментах в зависимости от усилия вертикального растяжения болтов являются первым приближением к более сложной задаче определения допустимых динамических нагрузок на подшипники и анкерные болты, находящиеся под действием параметров вибрации в вертикальном, горизонтальном и осевом направлениях, имеющих место в шахтных вентиляторах.

4. Необходимо продолжить теоретические и экспериментальные исследования в этом направлении (влияние прецессии вращающихся роторов вентиляторов) с целью обоснования допустимых нагрузок на подшипники, фундаментные болты и железобетонные фундаменты вентиляторов.

Литература

- Гладчук А.П.. Расчет глубины заделки анкерных болтов / А.П.Гладчук, Р.И.Евтехова, В.М.Кладов, Н.А.Кудрейко // Проблеми експлуатації обладнання шахтних стаціонарних установок: сб. научн. тр. – Вып. 100. –Донецк: НИІГМ им. М.М.Федорова, 2006. – С. 172-181.
- Дмитриев В.А. Детали машин. Основы расчета и конструирования машин: учебное пособие / В.А.Дмитриев. – Л.: Судостроение, 1970.
- Стальные конструкции: справочник конструктора. – М.: Стройиздат, 1973.
- Клепиков С.Н. Расчет конструкций на упругом основании / С.Н. Клепиков. – К.: Будівельник, 1967.
- Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя / В.И. Анурьев. – Т.1. – М.: Машиностроение, 1978.
- Варвак П.М. Новые методы решения задач сопротивления материалов / П.М. Варвак. – К.: Вища школа, 1977.
- Шахтные вентиляторные установки главного проветривания: справочник / Г.А.Бабак, К.П.Бочаров, А.Т. Волохов и др. – М.: Недра, 1982. – 296 с.
- Шуп Т. Решение инженерных задач на ЭВМ: практическое руководство / Т.Шуп. – М.: Мир, 1982.
- Носырев Б.А. Вентиляторные установки шахт и метрополитенов: Учебное пособие / Б.А.Носырев, С.В.Белов. – Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2000. – 278 с.

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