

УДК 622.258.3

А.Ю. Прокопов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЖЕСТКИХ АРМИРОВОК ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ С УЧЕТОМ СЕЗОННЫХ КОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ КОНСТРУКЦИЙ

Предложена методика для проектирования жесткой армировки воздухоподающих стволов Донбасса с учётом температурных нагрузок на конструкции.

Ключевые слова: армировка ствола, воздухоподающие стволы шахт, рудники.

Семинар № 4

A.J. Prokopov
**DESIGNING RIGID
REINFORCEMENTS VERTICAL STVO-LOV
TAKING INTO ACCOUNT SEASONAL
KOHL-BANY OF TEMPERATURE
KONSTRUK-TSY**

The technique for projektirovaniya rigid reinforcement vozduho-submitting trunks of Donbass with the account of temperature loadings on a design is offered.

Key words: reinforcement, a trunk, vozduho-submitting trunks of mines, mines

Проектирование, изготовление и монтаж металлоконструкций армировки ствола в настоящее время осуществляются в соответствии с требованиями следующих нормативных документов: Строительных норм и правил [1] – [5], Правил безопасности [6], Инструкции по производству маркшейдерских работ [7].

Расчет основных параметров армировки по условиям устойчивости движения подъемного сосуда в зависимости от его конструктивных особенностей, скорости и грузоподъемности производится согласно действующей «Методики расчета жестких армировок вертикальных стволов шахт» [8], разработанной во ВНИИГМ им. М.М.Федорова, а также «Посо-

бия по проектированию и монтажу жесткой армировки вертикальных стволов шахт и рудников» [9]. Данные нормативные документы включают в себя расчет основных характеристик и параметров элементов армировок, входящих в типовые схемы ярусов армировки клетевых и скиповых стволов.

При проектировании отдельных узлов или конструкций армировки, а также элементов технологии армирования используют также ряд отраслевых и ведомственных нормативных документов [10–14]. Однако, ни в одном из вышеназванных документов при проектировании схем, конструкций армировки и технологии армирования не учитываются температурные нагрузки, возникающие вследствие сезонных колебаний температуры воздуха.

Предлагаемая методика предназначена для проектирования жесткой армировки воздухоподающих стволов Донбасса с учетом температурных нагрузок на конструкции и включает:

- 1) Оценку прогнозируемых температурных нормальных и экстремальных нагрузок;
- 2) Определение жесткостных характеристик расстрельных балок;

Рис. 1. График среднемесячных температур для Шахтинского района Донбасса

3) Определение эксплуатационных нагрузок, действующих в системе «составной армировка»;

4) Расчет усилий в элементах армировки от действия температурных нагрузок;

5) Расчет усилий на анкеры, закрепляющие расстрелы, от совместного действия эксплуатационных и температурных нагрузок;

6) Расчет напряжений в опорных плитах и сварных швах;

7) Расчет напряжений среза в заделке анкеров от совместного действия эксплуатационных и температурных нагрузок.

Изложим основные положения предлагаемой методики.

Предварительно производится **оценка прогнозируемых температурных нормальных и экстремальных нагрузок**.

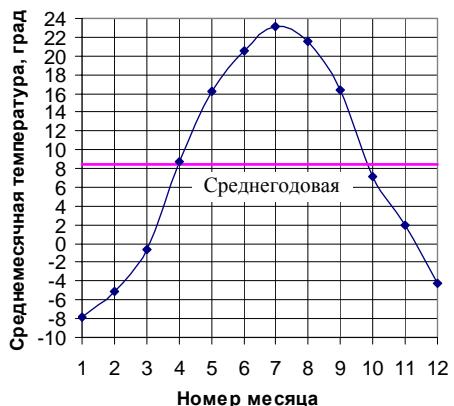
Под ожидаемой *нормальной температурной нагрузкой* ΔT на армировку будем понимать значение максимального отклонения температуры конструкции относительно температуры ее монтажа при соблюдении теплового режима в стволе, т.е.

$$\Delta T = \max \{T_m - T_{\max}; |T_m - T_{\min}|\}, \quad (1)$$

где T_m – температура воздуха (конструкции), при монтаже армировки, $^{\circ}\text{C}$; T_{\max} , T_{\min} – соответственно максимальная и минимальная в течение года температура воздуха в месте монтажа армировки, $^{\circ}\text{C}$.

Температура воздуха при монтаже конструкции (на нулевой отметке) будет зависеть от календарного времени года и для Шахтинского района Донбасса может определяться по графику (рис. 1).

Для других районов Донбасса (или других бассейнов, где самым



холодным месяцем является январь), температура воздуха при монтаже (на нулевой отметке) может быть ориентировочно определена по формуле

$$t_b = t_{cp} - W \cos \frac{2\pi(n-1)}{12}, \quad (2)$$

где t_{cp} – среднегодовая температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$; W – максимальное отклонение температуры от ее среднего значения; n – номер месяца, в котором производится монтаж армировки.

Так как с увеличением глубины ствола температура воздуха изменяется, то значение температурной нагрузки на армировку рекомендуется рассчитывать на различных глубинах: 0; 20; 100 и далее через каждые 100 м до глубины 700 м.

В соответствии с проведенными исследованиями среднемесячная температура воздуха в воздухоподающих стволах Донбасса на различных глубинах может определяться по номограмме (рис. 2).

Температура воздуха на конкретной глубине ствола может определяться также по формуле (2), куда должны подставляться соответствующие среднегодовые температуры t_{cp}^h и максимальные отклонение темпера-

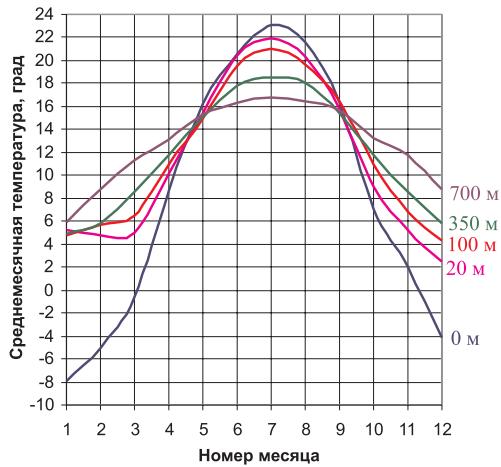


Рис. 2. Номограмма для определения среднемесячной температуры воздуха на различных глубинах воздухоподающих стволов Донбасса

туры от среднегодовой W^h , характерные для данной глубины ствола. Значения $t_{\text{ср}}^h$ и W^h для воздухоподающих стволов Донбасса могут быть определены по графикам (рис. 3).

Как показывают исследования, при нарушении нормального теплового режима стволов могут возникать аварийные режимы, характеризующиеся отрицательными температурами до глубины 400 м. В этом случае могут возникать экстремальные температурные нагрузки на армировку ΔT_s , которые могут быть оценены по выражению

$$\Delta T_s = \Delta T + t_s, \quad (3)$$

где ΔT – нормальная температурная нагрузка, определяемая по формуле (1); t_s – величина превышения нормальных максимумов (минимумов) температур при нарушении теплового режима,

$$t_s = \max \left\{ \left| T_{\max}^s - T_{\max}^h \right|; \left| T_{\min}^s - T_{\min}^h \right| \right\}, \quad (4)$$

Значения экстремальных температур T_{\max}^s, T_{\min}^s , зафиксированных в воздухоподающих ствалах Донбасса,

Рис. 3. Графики для определения среднегодовых температур $t_{\text{ср}}^h$ и максимальных отклонений температуры от среднегодовой W^h на различных глубинах

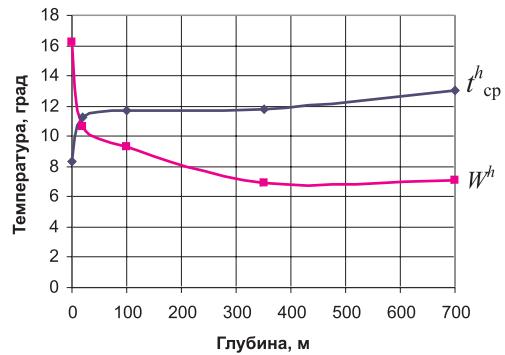
а также нормальных температур T_{\max}^h, T_{\min}^h , приведены на рис. 4.

Следующим этапом методики является **определение жесткостных характеристик армировки**. К жесткостным характеристикам армировки относятся лобовая C_y и боковая C_x жесткости в точках крепления проводников и безразмерные параметры лобовой a_{y1} и боковой жесткости a_{x1} армировки по проводникам, которые определяются согласно известным нормативным документам [8, 9].

Затем по этим же методикам **производится расчет эксплуатационных лобовой и боковой нагрузок на армировку**.

После чего выполняется **расчет узлов анкерного крепления расстрелов с учетом температурных нагрузок**.

Методику данного расчета рассмотрим на примере центрального расстрела, закрепленного с двух сторон анкерами, к которому крепятся 2 проводника. Расчет с другим количеством проводников выполняется аналогично, при этом нагрузки, передаваемые на расстрел каждым провод-



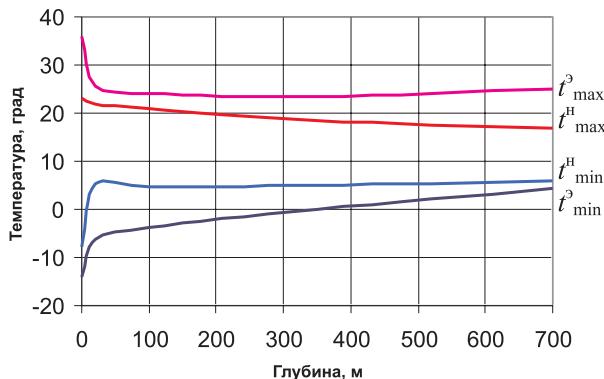


Рис. 4. Графики для определения нормальных и экстремальных температур

Опорные реакции от действия лобовой нагрузки

$$R_{Ay} = \frac{Q_a \cdot (3a + b)b^2}{l^3},$$

$$R_{By} = \frac{Q_a \cdot (a + 3b)a^2}{l^3}.$$

В случае симметричного расположения проводников:

$$R_A = R_B = Q_a.$$

Опорные моменты от действия боковой нагрузки, кН·м,

$$M_{Ax}'' = \frac{M \cdot b}{l^2} (2a - b) + \frac{M \cdot b_1}{l^2} (2a_1 - b_1),$$

$$M_{Bx}'' = -M_{Ax}''.$$

Реакции опор от действия боковой нагрузки, кН,

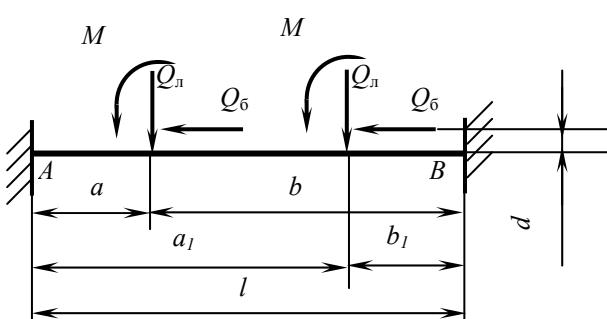
$$R_{Ay}'' = -\left(\frac{6M \cdot a \cdot b}{l^3} + \frac{6M \cdot a_1 \cdot b_1}{l^3} \right),$$

$$R_{By}'' = -R_{Ay}''.$$

Для симметричного расположения

$$R_{Ay}'' = -\frac{3M \cdot a \cdot b}{l^3}.$$

Результирующие реакции от нагрузок, передаваемых подъемным судом, при наиболее опасном сочетании:



ником, суммируются.

Рассмотрим основные этапы расчета.

1. Расчет опорных реакций от эксплуатационных нагрузок

В соответствии с расчетной схемой (рис. 5) определяем силовые факторы, возникающие в узлах крепления расстрелов к бетонной крепи.

Момент, возникающий при действии боковой нагрузки, кН·м:

$$M = Q_b \cdot d,$$

где Q_b — боковая нагрузка на проводник, кН; d — плечо приложения боковой силы к расстрелу, м.

Опорные моменты от действия лобовой нагрузки, кН·м,

$$M_{Ax}' = -\frac{Q_a \cdot (ab^2 + a_1b_1^2)}{l^2},$$

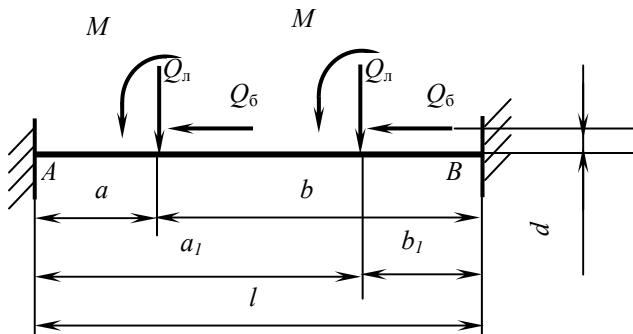
$$M_{Bx}' = \frac{Q_a \cdot (a^2b + a_1^2b_1)}{l^2}.$$

где l — длина расстрела, м.

При симметричном расположении проводников на расстреле, т.е. при $a = b_1$ и $a_1 = b$, опорные моменты равны:

$$M_{Ax}' = -M_{Bx}' = -\frac{Q_a \cdot a \cdot b}{l}.$$

Рис. 5. Расчетная схема для определения опорных реакций расстрела от нагрузки со стороны подъемного судна



$$M_{Ax} = |M'_{Ax}| + |M''_{Ax}|;$$

$$M_{Bx} = |M'_{Bx}| + |M''_{Bx}|;$$

$$R_{Ay} = R'_{Ay} + R''_{Ay};$$

$$R_{By} = R'_{By} + R''_{By}.$$

Опорные реакции от собственного веса армировки.

Расчетная схема для определения опорных реакций от собственного веса армировки приведена на рис. 6.

Реакция в опорах *A* и *B* от собственного веса расстрела, *H*,

$$R_{Ax} = R_{Bx} = q_p \cdot \frac{l}{2} \cdot g + G \cdot g,$$

где *G* – масса проводников, кг,

$$G = 2q_{np}HK,$$

здесь *q_{np}* – масса одного погонного метра проводника, кг/м; *H* – шаг армировки, м; *K* – коэффициент неравномерности распределения массы проводников по ярусам по условиям их закрепления на расстрелах, *K* = 1,5; *q_p* – масса одного погонного метра расстрела, кг/м; *l* – длина расстрела, м; *g* = 9,8 м/с² – ускорение свободного падения.

Опорные моменты от веса расстрела, кН·м:

$$M'_{Ay} = M'_{By} = \frac{q_p \cdot l^2 \cdot g}{12}.$$

Опорные моменты от веса проводников, кН·м:

Рис. 6. Расчетная схема для определения опорных реакций расстрела от собственного веса армировки

$$M''_{Ay} = M''_{By} = \frac{G \cdot g \cdot a \cdot b}{l}.$$

Опорные моменты от собственного веса армировки

$$M_{Ay} = M_{By} = M'_{Ay} + M''_{Ay}.$$

2. Расчет усилий от действия температурных нагрузок

Из результатов исследований влияния температурных нагрузок на НДС армировки, следует, что в расстрелях при нагревании (охлаждении) возникает продольная сила *N_t*, которая может быть определена по формуле

$$N_t = k_t F \Delta T, \quad (5)$$

где *F* – площадь поперечного сечения профиля расстрела, м²; *ΔT* – температурная нагрузка, °C, определяемая при расчете на нормальный тепловой режим по формуле (1), на экстремальный – по формуле (3); *k_t* – коэффициент пропорциональности, Па/°C, определяющий какая продольная сила возникает на единице площади сечения расстрела при его нагревании на 1°C, по данным моделирования значение *k_t* может быть ориентировочно принято:

- для расстрелов двутаврового профиля *k_t* = 2,47 · 10⁶ Па/°C;
- для расстрелов коробчатого профиля *k_t* = 2,41 · 10⁶ Па/°C.

При расчете консольных расстрелов продольная сила принимается *N_t* = 0.

3. Оценка напряжений в анкерах от совместного действия эксплуатационных и температурных нагрузок

Нормальные напряжения в штангах, кПа, возникающие от совместно-

го действия эксплуатационных и температурных нагрузок, определяются по формулам:

– для треханкерного узла крепления

$$\sigma = \frac{4N}{n_o \cdot d_w^2 \cdot \pi} + \frac{4M_x}{d_w^2 \cdot \pi \cdot a_y} + \frac{3M_y}{d_w^2 \cdot \pi \cdot a_x};$$

– для четыреханкерного узла крепления

$$\sigma = \frac{4N}{n_o \cdot d_w^2 \cdot \pi} + \frac{2M_x}{d_w^2 \cdot \pi \cdot a_y} + \frac{2M_y}{d_w^2 \cdot \pi \cdot a_x},$$

где d_w – диаметр штанги, м; a_x – расстояние между штангами по оси ОХ, м; a_y – расстояние между штангами по оси ОY, м; N – суммарная продольная сила от эксплуатационных и температурных нагрузок, кН,

$$N = N_e + N_t,$$

здесь N_t – продольная сила, вызванная температурными нагрузками, кН, определяемая по формуле (5); N_e – продольная сила, вызванная эксплуатационными нагрузками, кН,

$$N = Q_\delta \cdot \cos \alpha + R_y \sin \alpha,$$

где α – угол между продольной осью расстрела и нормалью к крепи в точке крепления расстрела, град.

Касательные напряжения в теле анкера, кПа, от перерезывающей силы Q :

$$\tau = \frac{4Q}{n_o \cdot d_w^2 \cdot \pi}.$$

Оценка прочности сложно-напряженного состояния штанги производится по условию Губера-Хенки-Мисеса

$$[\sigma] \geq \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}, \quad (6)$$

где $[\sigma]$ – допустимое эквивалентное

напряжение в анкерах, МПа.

$$[\sigma] = R_u = R_{un} \cdot \frac{\gamma_c}{\gamma_m},$$

где R_u – расчетное сопротивление на растяжение, сжатие и изгиб проката и труб по пределу текучести, МПа; R_{un} – временное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу, МПа; γ_c – коэффициент условий работы, $\gamma_c = 0,7$

– для работы анкеров в шахте; γ_m – коэффициент надежности по материалу.

4. Оценка напряжений среза плиты в местах ее соединения с расстрелом

Напряжения среза плиты будут равны

$$\tau_{max} = \frac{N}{F_{nc}} + \frac{M_x}{W_{ncx}} + \frac{M_y}{W_{ncy}},$$

где F_{nc} – площадь действия напряжений среза в плите, м^2 ; N – продольная сила от совместного действия эксплуатационных и температурных нагрузок, кН.

Допустимые напряжения среза, МПа, равны

$$[\tau] = \frac{0,6[\sigma]}{K_h \cdot K_\alpha},$$

где $[\sigma]$ – предел текучести материала стали, МПа; K_h – коэффициент неравномерности напряженного состояния; K_α – коэффициент, учитывающий концентрацию напряжений, зависящий от угла отклонения расстрела от перпендикуляра. K_α определяется по данным таблицы.

5. Оценка напряжений в сварных швах на опорной плате

Напряжения среза в сварных швах будут равны

Значения коэффициента K_α

α , град	0	5	10	15	20	25	30	35
K_α	1	1,05	1,11	1,16	1,21	1,26	1,31	1,37

Промежуточные значения K_α определяются методом линейной интерполяции

$$\tau_{\max} = \frac{N}{F_{\text{шв}}} + \frac{M_x}{W_{\text{шв}x}} + \frac{M_y}{W_{\text{шв}y}},$$

где $F_{\text{шв}}$ – площадь действия напряжений в сварных швах, м²; $W_{\text{шв}x}$, $W_{\text{шв}y}$ – моменты сопротивления сварных швов относительно осей OX_0 и OY_0 , м³; N – продольная сила от совместного действия эксплуатационных и температурных нагрузок, кН.

Допустимые напряжения среза

$$[\tau] = R_{wf} / (K_r \cdot K_s),$$

где R_{wf} – расчетное сопротивление угловых швов срезу по металлу шва; для электродов Э42 А $R_{wf} = 180$ МПа.

6. Оценка напряжений среза в бетоне, окружающем анкер

Как показали результаты моделирования работы армировок под действием температурных нагрузок, по данному фактору узел анкерного крепления расстрела является наименее работоспособным, поэтому напряжения среза в бетоне в большинстве случаев будут определять оценку прочности узла в целом. Данный расчет также обязательно производить с учетом температурных нагрузок.

При стержне анкера из периодического профиля класса АII диаметром от 0,02 до 0,07 м максимальные напряжения среза в бетоне, МПа, будут равны

$$\tau_{\max} = \left(\frac{0,092}{D_{cm}^2} + \frac{1,313}{D_{cm}} \right) \cdot P \cdot 10^{-3},$$

где D_{cr} – диаметр стержня, м; P – осевое усилие на анкер, кН,

$$P = \frac{N}{n},$$

здесь N – продольная сила от совместного действия эксплуатационных и температурных нагрузок, кН; n – количество анкеров, закрепляющих расстрел.

Допустимое напряжение среза в бетоне, МПа,

$$[\tau] = 0,75 \cdot \sqrt{R_b \cdot R_{bt}},$$

где R_b – расчетное сопротивление бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы, МПа; R_{bt} – расчетное сопротивление бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы, МПа.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Температурная нагрузка на армировку должна определяться с учетом календарного времени армирования и климатических условий сооружения ствола.

2. Следует различать нормальную и экстремальную температурные нагрузки. Нормальная температурная нагрузка определяется как разность между температурой во время армирования и максимальной (минимальной) температурой в течение года при соблюдении теплового режима в стволе. Экстремальная температурная нагрузка должна учитывать возможность возникновения аварийного температурного режима (обмерзания воздухоподающих стволов до глубины 400 м).

3. При изменении температуры в расстрелях возникает продольная сила N_t , прямопропорциональная площади поперечного сечения профиля расстрела F и температурной нагрузке ΔT . Все элементы армировки и узлы анкерного крепления должны рассчитываться с учетом данной продольной силы.

4. Расчет узлов анкерного крепления расстрелов должен включать расчет усилий от эксплуатационных и температурных нагрузок, оценку напряжений в анкерах от совместного действия этих нагрузок, оценку напряжений в опорной

плите, местах ее соединения с расстрелом и в сварных швах, оценку напряжений среза в бетоне, окружающем анкер.

5. При суммарном воздействии температурных и эксплуатационных

нагрузок наиболее вероятным является разрушение заделки из-за превышения допустимых напряжений среза в бетоне, окружающем анкер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Строительные нормы и правила: Подземные горные выработки. Нормы проектирования. СНиП II-94-80. – М.: Стройиздат, 1982.
2. Строительные нормы и правила: Подземные горные выработки и работы. Правила производства и приемки работ. СНиП 3.02.03-84. – М.: Стройиздат, 1985.
3. Строительные нормы и правила: Стальные конструкции. Нормы проектирования. СНиП II-23.81. – М.: Стройиздат, 1988.
4. Строительные нормы и правила: Металлические конструкции. Правила изготовления, монтажа и приемки. СНиП III-18-75. – М.: Стройиздат, 1976.
5. Строительные нормы и правила: Бетонные и железобетонные конструкции. СНиП 2.03.01 - 83. – М.: Госстрой СССР, 1980. – 15 с.
6. Правила безопасности в угольных шахтах. – Самара: Самарск. дом печати, 1995. – 242 с.
7. Инструкция по производству маркшейдерских работ. Утв. Госгортехнадзором России 6.06.03. – М., 2003.
8. Методика расчета жестких армировок вертикальных стволов шахт. – ВНИИГМ им. М.М. Федорова. – Донецк, 1985. – 170 с.
9. Пособие по проектированию и монтажу жесткой армировки вертикальных стволов шахт и рудников (к СНиП II-94-80). Гос. ком. СССР по народн. образ., Моск. горн. ин-т / Под ред. И.В. Баклашова. – М.: Недра, 1989. – 160 с.
10. Типовые материалы для проектирования 401-011-87-89. Сечения и армировка вертикальных стволов с жесткими проводниками. – Харьков: Южгипрошахт, 1989.
11. Инструкция по проектированию и монтажу армировки вертикальных стволов шахт с креплением элементов армировки на анкерах РД.12.18.089 - 90 – Харьков: ВНИИОМШС, 1990. – 83 с.
12. Технологические схемы армирования вертикальных стволов. – Харьков, ВНИИОМШС, 1981. – 187 с.
13. Единые унифицированные технологические схемы и конструктивные решения центральных и фланговых стволов с жесткой армировкой. – Харьков, Южгипрошахт, 1985.
14. Руководство по проектированию вертикальных стволов шахт с коробчатыми проводниками. Часть 1. Методические указания. – Кривой Рог, Криворожский горнорудный институт, 1989. – 116 с. ГИАБ

Коротко об авторе

Прокопов А.Ю. – кандидат технических наук, доцент, заместитель директора Шахтинского института Южно-Российского государственного технического университета по образовательной и научной деятельности, доцент кафедры «Подземное, промышленное, гражданское строительство и строительные материалы», г. Шахты, Россия, prokopov72@rambler.ru

