

ПРОГРАММНОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ



**Вильгельм Теобальдович
Преслер, д.т.н., ведущий
научный сотрудник
лаборатории газодинамики
и геомеханики угольных
месторождений Института
угля СО РАН**



**Виктор Евгеньевич
Ануфриев, к.т.н., старший
научный сотрудник
лаборатории газодинамики
и геомеханики угольных
месторождений Института
угля СО РАН**



**Николай Васильевич
Черданцев, д.т.н., доцент,
старший научный сотрудник
лаборатории газодинамики
и геомеханики угольных
месторождений Института
угля СО РАН**

ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ ВЫРАБОТОК

КОМПЛЕКС ПО РАСЧЕТУ ПАРАМЕТРОВ АНКЕРНОГО КРЕПЛЕНИЯ

В Институте угля СО РАН разработано программное обеспечение по расчету параметров анкеров глубокого заложения (второго уровня), используемых для усиления крепления выработок, проводимых по угольным пластам, в типичных для Кузбасса горнотехнических условиях. Оно базируется на инженерных методах расчета геомеханического состояния приконтурного массива, теории сводообразования и эмпирических зависимостях параметров среды от крепости пород и угля, полученных экспериментальным путем. Программное обеспечение реализовано в виде комплекса из 14 самостоятельных программных модулей в среде широко известного программного средства Microsoft Excel. Комплекс включает следующие модули:

1. Расчет параметров канатных анкеров для крепления выработок вне зоны влияния выработанных пространств лав.
2. Расчет параметров канатных анкеров для крепления выработок в зоне влияния временного опорного давления лавы.
3. Расчет параметров канатных анкеров для крепления выработок в створе с лавой.
4. Расчет параметров крепления выработок, поддерживаемых на границе выработанного пространства (определение сопротивления посадочно-защитной крепи).
5. Расчет параметров крепления выработок, охраняемых узким целиком на границе выработанного пространства.
6. Расчет параметров канатных

анкеров для усиления крепления сопряжений выработок при их пересечении под острым углом.

7. Расчет параметров канатных анкеров для усиления крепления сопряжений выработок при их пересечении или примыкании под прямым углом.

8. Расчет параметров канатных анкеров для усиления крепления выработок и их сопряжений в зоне остаточного и временного опорного давлений выработанных пространств отработанной лавы и действующей смежной лавы.

9. Расчет параметров канатных анкеров для усиления крепления выработок, пересекающихся или примыкающих под прямым углом, и их сопряжений в зоне остаточного и временного опорного давлений выработанных пространств отработанной лавы и действующей смежной лавы.

10. Расчет параметров канатных анкеров для усиления крепления выработок, находящихся под влиянием ППГД от краевой зоны угольного пласта.

11. Расчет параметров канатных анкеров для усиления крепления выработок, пересекающих зону ППГД от оставленных целиков.

12. Расчет параметров канатных анкеров для крепления демонтажной камеры или демонтажного ходка, развиваемых от механизированного комплекса, при условии подбучивания основной кровли.

13. Расчет параметров канатных анкеров для крепления демонтажной камеры или демонтажного ходка,

развиваемых от механизированного комплекса, при условии неподбучивания основной кровли.

14. Расчет параметров канатных анкеров для крепления выработок при наличии в тонкослойных, трещиноватых породах кровли глинистых конгломератовых прослоев.

Модули имеют однотипную структуру, которая включает общий заголовок, вводную и расчетную части со своими заголовками и специальную часть – резюме, в котором представляются итоговые результаты расчетов. В свою очередь, вводная и расчетная часть модуля могут содержать отдельные разделы, их заголовки и резюме по расчетным разделам. Исходные и расчетные данные располагаются в два параллельных ряда и специфицируются: снабжаются смысловым названием данного, идентификатором и размерностью, которые полностью определяют используемые величины. В некоторых модулях расчет сопровождается сообщениями и коммен-

тариями, которые выделяются соответствующим цветом. Позиции ввода исходных и расчетных данных также выделяются соответствующим цветом заливки, а их числовые значения – цветом шрифта.

В модулях 1, 2, 3, 4, 5, 12, 13, 14 расчет проводится в один этап, в результате формируется резюме о применении канатных анкеров соответствующей длины и количества на погонный метр. В модуле 14 длины анкеров определяются в направлении двух боков выработки. Кроме этого, по критерию определяется достаточность крепления и необходимость корректировки сопротивления стоечной крепи. В модуле 4 конечной целью расчета является выявление достаточности в целом несущей способности посадочно-защитной крепи (ПЗК). Исследование этой способности проводится путем изменения несущей способности отдельных компонент крепи: стоечной, двух рядов анкерных крепей усиления, секций

**МОДУЛИ ИМЕЮТ
ОДНОТИПНУЮ СТРУКТУРУ,
КОТОРАЯ ВКЛЮЧАЕТ ОБЩИЙ
ЗАГОЛОВОК, ВВОДНУЮ
И РАСЧЕТНУЮ ЧАСТИ СО
СВОИМИ ЗАГОЛОВКАМИ
И СПЕЦИАЛЬНУЮ ЧАСТЬ –
РЕЗЮМЕ, В КОТОРОМ
ПРЕДСТАВЛЯЮТСЯ ИТОГОВЫЕ
РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ**

механизированной крепи. По разнице значений расчетной суммарной способности ПЗК и заданной табличной определяется достаточность несущей способности ПЗК в целом и требуемая несущая способность отдельных компонент крепи, при которой обеспечивается эта достаточность. В модулях 12 проверяются условия подбучивания кровли, а в модуле 13 ее

Модуль 1. Расчет параметров канатных анкеров для крепления выработок вне зоны влияния выработанных пространств лав

Исходные данные										
Плотность пород кровли	$тс/м^3$	γ	2,5	↕ Ввод данных ↕	10	α	град.	Угол падения пласта		
Глубина расположения выработки	$м$	H	800		0,4	r_{mp}	$м$	Среднее расстояние между трещинами		
Ширина выработки	$м$	b	5,5		12	t	мес.	Срок службы выработки		
Высоты лежачего и висячего боков выработки	$м$	$h_{л}$	2,9		0,8	f	ус.ед.	Средневзвешанная крепость пласта и пород кровли на интервале ширины выработки		
		$h_{в}$	3,9		2,4	f_1				
Мощности пласта в лежачем и висячем боках выработки	$м$	$m_{л}$	2		0,4	ξ	д.е.	Эмпирические коэффициенты для расчета обобщенного коэффициента снижения прочности пласта на его обозначении		
		$m_{в}$	3		0,5	ζ				
Мощность пород непосредственной кровли	$м$	$m_{нк}$	5		0,6	ε				
Площадь присечки пород в кровле пласта и величина присечки в месте установки анкера	$м^2$	$S_{п}$	5		1	T_k	ед.	Тип кровли	1 - I, 2 - II, 3 - III, 4 - IV	
	$м$	$h_{п}$	0,9							
Несущая способность анкеров 1-го и 2-го уровней	$тс$	I_c	10	1	Ориентация трассы выработки $Tm=(1, 2, 3)$		По простиранию пласта			
		I_k	21							
Параметры опорного давления, свода давления, нагрузки на крепь, анкеров и другие расчетные данные										
Горное давление	$МПа$	γH	20,0	↕ Расчетные данные ↕	64	$\varphi_1(f_1)$	град.	Углы давления		
Кубиковая и остаточная прочность пласта	$МПа$	$\sigma_{пл}$	8,0		72	$\varphi_2(f_1)$				
		σ_*	1,64		67	$\varphi_3(f_1)$				
Максимальные напряжения в боках выработки	$МПа$	$\sigma_{л}$	31,0		39	$\rho(f_1)$	град.	Угол внутреннего трения		
		$\sigma_{в}$	30,3		0,54	λ	д.е.	Коэффициент бокового давления		
Коэффициенты роста напряжений в ПНЗ боков выработки	$МПа/м$	$U_{л}$	1,64		0,70	$k_{oc}(f)$	д.е.	Коэффициенты объемного сжатия и снижения прочности пород кровли		
		$U_{в}$	1,09		0,85	$k_{кр}(f_1)$				
Ширины призмы сползания в боках выработки	$м$	$c_{л}$	1,37		0,51	k_t	д.е.	Коэффициенты снижения прочности пласта со временем и обобщенный		
		$c_{в}$	1,85		0,20	k_c				
Ширины ПНЗ в боках выработки	$м$	$A_{л}$	17,9		0,40	k_g	д.е.	Коэффициент структурного ослабления пласта		
		$A_{в}$	26,2	20,0	B	$м$	Эффективная ширина подработки			
Ширины зон разрушения в боках выработки	$м$	$a_{л}$	5,8	3,7	$Y(f_1)$	$м$	Максимальная высота и площадь сечения контура свода давления			
		$a_{в}$	8,6	21,7	S	$м^2$				
Погонная и удельная нагрузки на крепь	$тс/н.м$	Q	54,3	1,6	n	шт./н.м	Число и длина анкеров второго уровня			
	$тс/м^2$	P	9,9	4,0	l	$м$				

Резюме. К проекту принимаются анкеры второго уровня длиной 4 м из расчета 1,5 анкер /п.м.

Модуль 7. Расчет параметров канатных анкеров для усиления крепления сопряжений выработок при их пересечении или примыкании под прямым углом

Исходные данные										
Плотность пород кровли	тс/м ³	γ	2,5	↕ Ввод данных ↕	12	α	град.	Угол падения пласта		
Глубина расположения выработки	м	H	400		0,1	r_{mp}	м	Среднее расстояние между трещинами		
Мощность пород непосредственной кровли	м	$m_{нк}$	3		1,2	f	ус.ед.	Средневзвешанная крепость пласта и пород кровли на интервалах выработки b_1 и сопряжения $\sqrt{(b_1^2+b_2^2)}$ или $\sqrt{(b_1^2+b_2^2)/2}$		
Неушая способность анкеров 1-го и 2-го уровней	тс	I_c	16		1,8	f_1				
		I_k	21		2,2	f_2				
Площадь присечки пород на максимальном пролете и ее величина в месте установки анкера	м ²	$S_{Пmax}$	5		0	Тип сопряжения выработок $T_c=(0, 1)$		Примыкание		
Первая выработка с большей шириной					Вторая выработка с меньшей шириной					
Срок службы выработки	мес.	t_1	24		36	t_2	мес.	Срок службы выработки		
Эмпирические коэффициенты для расчета обобщенного коэффициента снижения прочности пласта на его обнажении	д.е.	ξ_1	0,4		0,4	ξ_2	д.е.	Эмпирические коэффициенты для расчета обобщенного коэффициента снижения прочности пласта на его обнажении		
		ζ_1	0,5		0,5	ζ_2				
		ε_1	0,6	0,6	ε_2					
Ширина выработки	м	b_1	7	5	b_2	м	Ширина выработки			
Высоты боков выработки	м	$h_{л1}$	2,9	2,9	$h_{л2}$	м	Высоты боков выработки			
		$h_{е1}$	4	3,5	$h_{е2}$					
Мощности пласта в боках выработки	м	$m_{л1}$	2,2	1,9	$m_{л2}$	м	Мощности пласта в боках выработки			
		$m_{е1}$	2,9	2,9	$m_{е2}$					
Площадь присечки пород в кровле пласта и величина присечки в месте установки анкера	м ²	$S_{П1}$	3,57	2,04	$S_{П2}$	м ²	Площадь присечки пород в кровле пласта и величина присечки в месте установки анкера			
		$h_{П1}$	0,5	0,5	$h_{П2}$					
По простиранию пласта	Ориентация трассы выработки $Tm_1=(1, 2, 3)$		1	3	Ориентация трассы выработки $Tm_2=(1, 2, 3)$		По падению (восстанию) пласта			
Параметры опорного давления, свода давления, нагрузки на крепь, анкеров и другие расчетные данные										
Горное давление	МПа	γH	10,0	↕ Расчетные данные ↕	39	$\rho(f_1)$	град.	Угол внутреннего трения		
Кубиковая прочность пласта	МПа	$\sigma_{нл}$	12,0		63	$\varphi_1(f_2)$	град.	Углы давления		
Коэффициенты объемного сжатия и снижения прочности пород кровли	д.е.	$k_{oc}(f)$	0,54		73	$\varphi_2(f_2)$				
		$k_{кp}(f_2)$	0,83		67	$\varphi_3(f_2)$				
Коэффициент структурного ослабления пласта	д.е.	k_{δ}	0,36	0,78	λ	д.е.	Коэффициент бокового давления			
Параметры подработки пород кровли выработками										
Первая выработка					Вторая выработка					
Остаточная прочность пласта	МПа	σ_{*1}	2,02	↕ Расчетные данные ↕	1,95	σ_{*2}	МПа	Остаточная прочность пласта		
Максимальные напряжения в боках выработки	МПа	$\sigma_{л1}$	16,9		16,4	$\sigma_{л2}$	МПа	Максимальные напряжения в боках выработки		
		$\sigma_{е1}$	16,2		15,6	$\sigma_{е2}$				
Коэффициенты снижения прочности пласта со временем и обобщенный	д.е.	$k_{л1}$	0,47		0,46	$k_{л2}$	д.е.	Коэффициенты снижения прочности пласта со временем и обобщенный		
		$k_{е1}$	0,17		0,16	$k_{е2}$				
Коэффициенты роста напряжений в ПНЗ боков выработки	МПа/м	$U_{л1}$	1,83		2,06	$U_{л2}$	МПа/м	Коэффициенты роста напряжений в ПНЗ боков выработки		
		$U_{е1}$	1,39		1,35	$U_{е2}$				
Ширины ПНЗ в боках выработки	м	$A_{л1}$	8,1		7,0	$A_{л2}$	м	Ширины ПНЗ в боках выработки		
		$A_{е1}$	10,2		10,1	$A_{е2}$				
Ширины зон разрушения в боках выработки	м	$a_{л1}$	3,6		3,2	$a_{л2}$	м	Ширины зон разрушения в боках выработки		
		$a_{е1}$	4,6	4,7	$a_{е2}$					
Ширины призмы сползания в боках выработки	м	$c_{л1}$	1,40	1,40	$c_{л2}$	м	Ширины призмы сползания в боках выработки			
		$c_{е1}$	1,93	1,69	$c_{е2}$					
Эффективная ширина подработки	м	B_1	15,3	12,9	B_2	м	Эффективная ширина подработки			
Максимальная высота и площадь сечения контура свода давления	м	$Y_1(f_1)$	5,9	5,0	$Y_2(f_1)$	м	Максимальная высота и площадь сечения контура свода давления			
		S_1	43,3	27,9	S_2		м ²			
Погонная и удельная нагрузки на крепь	тс/н.м	Q_1	108,3	69,9	Q_2	тс/н.м		Погонная и удельная нагрузки на крепь		
		P_1	15,5	14,0	P_2		тс/м ²			
Длина анкеров	м	l_1	6,7	5,7	l_2	м		Длина анкеров		
Рекомендуются		анкеры второго уровня		Рекомендуются		анкеры второго уровня				
длиной		6,5 м.		длиной		5,5 м.				
Параметры подработки пород кровли сопряжением										
Максимальная эффективная ширина пролета	м	B_{max}	16,3	↕ Расчетные данные ↕	123,2	Q_{max}	тс/н.м	Погонная и удельная нагрузки на крепь		
					16,6	P_{max}	тс/м ²			
Максимальная высота и площадь сечения контура свода давления	м	$Y_{max}(f_2)$	5,7		5,9	n_{max}	шт./н.м	Число и длина анкеров второго уровня		
					6,5	l_{max}	м			

Резюме. К проекту по максимальным пролетам принимаются анкеры второго уровня длиной 6,5 м из расчета 6 анкер/п.м.

неподбучивание. При невыполнении соответствующего условия выдается сообщение о том, каким из модулей следует воспользоваться для проведения расчетов по демонтажным выработкам. В модуле 12 анализируются введенные пользователем размеры целиков (междукамерный и между лавой и первой демонтажной камерой), и устанавливается та демонтажная выработка, для которой необходимо произвести расчет параметров крепления. В результате анализа формируется код, идентифицирующий выработку, по которому в дальнейшем регулируется ход расчета. В модуле 13 дополнительно проводится анализ достаточности сопротивления крепи в целом посредством регулирования сопротивлений стоечной крепи и двух рядов анкерных крепей и удельной несущей способности секций механизированной крепи. Исчерпание возможности по регулированию сопротивления стоечной крепи определяется ее заданным максимальным сопротивлением. Регулирование сопротивления анкерной крепи ограничивается заданным максимальным суммарным сопротивлением ее двух рядов. По итогам анализа выдается сообщение о достаточности сопротивления крепи, либо о увеличении сопротивления стоечной крепи, двух рядов канатных анкеров, либо о проведении мероприятий по разупрочнению кровли. В модулях 12 и 13 формируются пространственные резюме о параметрах канатных анкеров, расстановке их рядов в выработке и углах их наклона к горизонту.

В модулях 6 и 7 расчет проводится в два этапа. На первом рассчитываются параметры подработки пород кровли и крепи по каждой выработке сопряжения, определяется уровень анкеров усиления (сталеполимерные, канатные) и формируется рекомендация об их длине. На втором этапе в модуле 6 рассчитываются параметры подработки пород сопряжением этих выработок по максимальному и минимальному пролетам. Определяется уровень анкеров усиления и формируется резюме о применении анкеров соответствующего уровня, числа и также длины, установленной по максимальному пролету. В модуле 7 на втором этапе расчет проводится только для одного пролета, поскольку

их размеры совпадают. В резюме отражается количество анкеров только по одному пролету в силу их совпадения.

В модулях 10 и 11 расчет проводится в три этапа. На первом этапе в модуле 10 рассчитываются все необходимые параметры для проектируемой выработки и краевой зоны угольного пласта. В модуле 11 эти параметры рассчитываются для проектируемой выработки и целика. На втором этапе в модуле 10 устанавливается влияние краевой зоны и интервал этого влияния на выработку и выдается соответствующее сообщение. В модуле 11 устанавливается тип и интервал влияния целика на выработку (податливый, жесткий, разрушаемый) и выдается соответствующее сообщение. При этом в обоих модулях контролируется допустимое по ПБ расстояние между целиком и выработкой. На третьем этапе рассчитываются параметры крепи усиления выработки с учетом влияния краевой зоны либо целика.

В модулях 8 и 9 расчет проводится в семь этапов. На первых двух этапах расчет ведется аналогично модулям 6 и 7, включая формирование рекомендаций по длине анкеров для одиночных выработок и параметров крепи для пролетов сопряжения. На третьем этапе рассчитываются параметры остаточного опорного давления выработанного пространства (ВП) смежной лавы, устанавливается его влияние на первую выработку большей ширины и формируется сообщение об этом. Если влияние ВП выявлено, рассчитываются параметры опорного давления в первой

выработке с его учетом, параметры свода давления, нагрузки и крепи. По результатам формируется резюме об усилении крепления выработки анкерами второго уровня соответствующей длины и числа. В противном случае расчет не производится.

На четвертом этапе производится оценка влияния ВП смежной лавы на сопряжение выработок и формирование соответствующего резюме по его креплению анкерами по максимальному и минимальному пролету. При этом рекомендуется длина анкеров, рассчитанная для максимального пролета. В модуле 9 эта оценка проводится только по одному пролету в силу их равенства. На пятом этапе рассчитываются параметры временного опорного давления действующей лавы. По результатам этой оценки с учетом влияния действующей лавы на шестом и седьмом этапах рассчитываются параметры подработки пород кровли и крепи усиления для первой выработки и сопряжения выработок по его пролетам (в модуле 9 по одному пролету), а также формируются соответствующие резюме по креплению одиночной выработки и сопряжения выработок. Эти резюме являются итоговыми.

Программный комплекс может быть использован для проектирования паспортов крепления непосредственно в шахтах. Комплекс не требует особых навыков освоения в силу ориентации на технологов шахт и может быть поставлен на любой персональный компьютер, имеющийся в их технологических службах. Ниже представлены два модуля из комплекта.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС МОЖЕТ БЫТЬ ИСПОЛЬЗОВАН ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПАСПОРТОВ КРЕПЛЕНИЯ НЕПОСРЕДСТВЕННО В ШАХТАХ