

В.И. Зензеров, А.С. Гребенкина

## **ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ СЕКЦИЙ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ ПРИ ПЕРЕДВИЖЕНИИ НА НАКЛОННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТАХ**

*В работе предлагается программный комплекс для ПЭВМ, реализующий методику аналитической оценки устойчивости передвижения секций механизированной крепи на наклонных пластах.*

---

### **ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОЦІНКИ СТІЙКОСТІ СЕКЦІЙ МЕХАНІЗОВАНОГО КРІПЛЕННЯ ПРИ ПЕРЕСУВАННІ НА ПОХИЛИХ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТАХ**

*У роботі пропонується програмний комплекс для ПЕОМ, що реалізовує методику аналітичної оцінки стійкості пересування секцій механізованого кріплення на похилих пластах.*

---

### **PROGRAM COMPLEX FOR ESTIMATION STEADINESS OF MECHANIZED SUPPORT UNIT DURING MOVEMENT ON INCLINE COAL SEAMS**

*A programmatic complex for computers, realizing methodology of analytical estimation of stability of movement of sections of mechanized timbers on sloping layers, is offered in the work.*

---

#### **АКТУАЛЬНОСТЬ ЗАДАЧИ**

Под статической устойчивостью и устойчивостью секций крепи в процессе их передвижения понимается способность секций сохранять под действием внешних силовых факторов и активных средств удержания такое пространственное положение, при котором возможна их нормальная эксплуатация в комплекте механизированной крепи. Проверка устойчивости опрокидыванию заключается в определении соотношения восстанавливающего и опрокидывающего моментов сил относительно оси, проходящей внутри контура основания (при боковых породах с  $f = 3,5-4$  по шкале проф. Протодьяконова Н.М.), а в

пределе – через крайнюю точку контура (при боковых породах с  $f$  до 7-8) и сравнении этого соотношения с допустимым. Опрокидывание – поворот секции крепи вокруг оси, проходящей через основание, причем положение ее зависит от физико-механических свойств почвы [1]. При работе механизированных крепей в лавах с углом падения пласта свыше  $15^\circ$  значительная часть отказов возникает вследствие низкой эффективности средств обеспечения устойчивости их секций.

Поэтому научно-техническое обоснование и развитие методов и средств исследования, проектирования и расчета параметров секций механизированных крепей с характеристиками, обеспечивающими их

эффективную эксплуатацию на наклонных пластах, является важной научной и практической задачей, имеющей отраслевое значение.

Целью и задачей работы является разработка современных средств исследования параметров секций механизированных крепей для их модернизации, обеспечивающих повышение эффективности их эксплуатации.

Для достижения поставленной цели решается задача разработки методики аналитической оценки устойчивости передвижения секций механизированной крепи на наклонных пластах. Для численного решения полученной математической модели предлагается программный комплекс для ПЭВМ, включающий модуль графического отображения результатов.

#### СОДЕРЖАНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

На пространственное положение секции и скорость ее передвижения оказывают влияние большое количество факторов, основными из которых являются: наклонные составляющие веса секции крепи, положение центра ее тяжести, составляющие тягового усилия гидродомкрата, активный удерживающий момент, создаваемый системой устойчивости, величина подпорного усилия при передвижении с подпором, усилия взаимодействия в межсекционных связях балок и оснований, пригрузка пород кровли на перекрытие секции, вдавливание основания в почву пласта и др. Определим запас устойчивости секций крепи в процессе однократного передвижения. Расчетная схема к определению боковой устойчивости секции механизированной крепи приведена на рис. 1.

Момент, удерживающий секцию крепи от опрокидывания, равен:

$$\sum M_{y\partial} = M_G^{y\partial} + M_{подп.}^{y\partial} + M_{взаим.}^{y\partial} + M_{акт.}^{y\partial}, \quad (1)$$

где  $M_G^{y\partial}$  – удерживающий момент от составляющей веса секции крепи;

$M_{подп.}^{y\partial}$  – удерживающий момент от подпорного усилия;

$M_{взаим.}^{y\partial}$  – момент от взаимодействия в межсекционных связях;

$M_{акт.}^{y\partial}$  – активный удерживающий момент, создаваемый механизмом устойчивости.

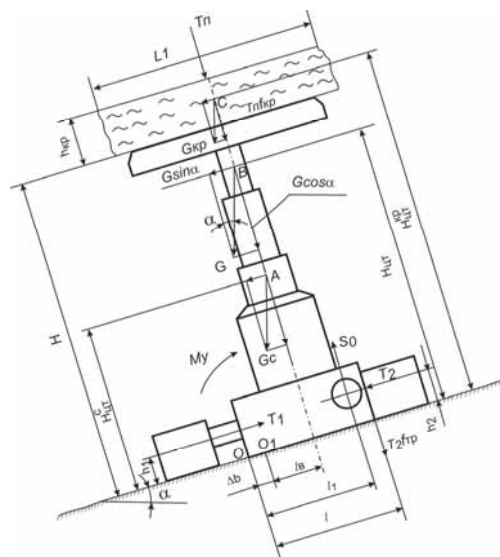


Рис. 1. Расчетная схема определения боковой устойчивости секции механизированной крепи

Момент, опрокидывающий секцию крепи, складывается из моментов от составляющих веса  $M_G^{опр}$  и тягового усилия гидродомкрата передвижения  $M_{2\partial}^{опр}$ :

$$\sum M_{опр} = M_G^{опр} + M_{2\partial}^{опр}. \quad (2)$$

Моменты от составляющих веса крепи равны:

$$\begin{aligned} M_G^{y\partial} &= Gl_B \cos \alpha; \\ M_G^{опр} &= GH_{ум} \sin \alpha, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $G$  – вес секции крепи с пригрузкой;

$\alpha$  – угол падения пласта;

$l_B$  – плечо восстанавливающего момента, с учетом ширины основания, равной  $L$  и смятия пород почвы под нижним (со стороны падения пласта) ребром основания на величину  $\Delta B$  (в расчетах принимается равной 0,05 м) равно:

$$l_B = \frac{l}{2} - \Delta b, \quad (4)$$

$H_{цм}$  – высота центра тяжести системы «секция крепи – кровля»; при слабых кровлях рассчитывается с учетом массы отслоившейся породы высотой  $h_{кр} = 0,5 \div 0,7$  м:

$$H_{цм} = \frac{G_c H_{цм}^c + G_{кр} H_{цм}^{кр}}{G}, \quad (5)$$

где  $G_c$  – вес секции крепи;

$H_{цм}^c$  – высота центра тяжести секции;

$G_{кр}$  – вес отслоившейся породы кровли плотностью  $\gamma$  равен:

$$G_{кр} = h_{кр} L_1 L_2 \gamma, \quad (6)$$

где  $L_1$  – шаг установки секций крепи;

$L_2$  – ширина поддерживаемого крепью

$$T_n \max = \frac{\frac{\pi}{4} [P_2 (D_b^2 - d^2) - P_3 D_b^2] \eta (\cos \beta_u - f_u \sin \beta_u)}{\cos(\beta_u - \gamma_\delta) (f_n + f_{кр})} - \frac{[G \cos \alpha f_n + (T_1 + T_2 + R_y) f_{ip}] \cos(\beta_u - \gamma_\delta)}{(f_n + f_{кр})}, \quad (9)$$

где  $P_2$  и  $P_3$  – соответственно, давления рабочей жидкости в штоковой и поршневой полостях гидродомкрата;

$D_b$  и  $d$  – соответственно, внутренний диаметр цилиндра и диаметр штока гидродомкрата;

$\eta$  – объемный КПД (при уплотнениях

призабойного пространства;

$H_{цм}^{кр}$  – высота центра тяжести отслоившейся кровли, находящейся на перекрытии секции высотой  $H$  :

$$H_{цм}^{кр} = H + \frac{h_{кр}}{2}. \quad (7)$$

Отметим, что передвижение секций крепи с подпором, способствует повышению устойчивости секций на наклонных пластах. Удерживающий момент от подпорного усилия  $T_n$  равен:

$$M_{подн.}^{y\delta} = T_n (l_b + f_{кр} H), \quad (8)$$

где  $f_{кр}$  – коэффициент трения перекрытия о кровлю.

Максимальная величина усилия подпора кровли определяется из условия обеспечения движения секции крепи усилием, развиваемым гидродомкратом передвижения. На основании исследований, выполненных в работах [2, 3, 4] получено выражение для максимальной величины усилия подпора кровли в зависимости от конструктивных параметров и величины рассогласования в уровнях основания секции крепи и конвейера:

резиновыми манжетами  $\eta=1$ );

$\beta_u$  – угол отклонения цепи от горизонтальной оси в вертикальной плоскости;

$\gamma_\delta$  – угол отклонения оси гидродомкрата от оси отверстия для установки в вертикальной плоскости.

Опрокидывающий момент от верти-

кальной составляющей тягового усилия гидродомкрата равен:

$$M_{\Delta b}^{omp} = S_b(l_1 - \Delta b), \quad (10)$$

где  $l_1$  – расстояние от оси гидродомкрата до нижнего по падению пласта ребра основания.

Удерживающий момент, возникающий при взаимодействии секции с элементами конструкции комплекса:

$$M_{\text{взаим}}^{y\delta} = T_1 h_1 + T_2 f_{tp}(l - \Delta b), \quad (11)$$

где  $h_1$  – плечо силы  $T_1$ .

Исследования кинематики передвижения секций механизированных крепей проводилось на базе механизированных поддерживающих крепей с нижним расположением связей, предназначенных для работы в лавах с углом падения пласта до  $35^\circ$ .

Расчет устойчивости в процессе однократного передвижения без подпора секций крепей, не оснащенных специальной системой устойчивости, сводится к определению максимального значения угла па-

дения пласта, при котором еще обеспечивается боковая устойчивость секций. Ориентировочный расчет устойчивости выполняется с учетом выражений (3)-(7) для конкретных горно-геологических условий эксплуатации и запаса устойчивости, равного единице, по формуле:

$$\alpha = \arctg \frac{\left(\frac{l}{2} - \Delta b\right) \left(G_c + h_{кр} L_1 L_2 \gamma\right)}{G_c H_{цм}^c + h_{кр} L_1 L_2 \gamma \left(H + \frac{h_{кр}}{2}\right)}. \quad (12)$$

Для выполнения инженерных расчетов разработан алгоритм, позволяющий определить максимальное значения угла падения пласта  $\alpha$  в зависимости от массы секции крепи  $G_c$ , высоты центра тяжести секции  $H_{цм}^c$ , площади кровли ( $L_1$ ,  $L_2$ ), поддерживаемой одной секцией крепи, мощности пласта  $H$ , ширины основания  $l$  и высоты отслоившейся кровли  $h_{кр}$ . Блок-схема алгоритма приведена на рис. 2.

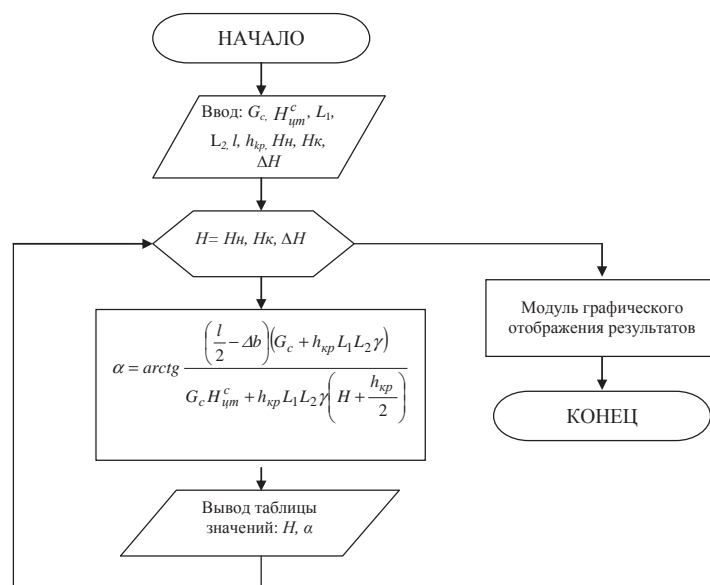


Рис. 2. Блок-схема алгоритма

На основании разработанного алгоритма и программы на языке DELPHI [8] определяем максимальный угол падения пласта при работе секции крепи без системы устойчивости. Зависимость критического угла статической боковой устойчивости секции крепи 1MT от горно-геологических условий приведена на рис. 3.

Варьирование исходных параметров при расчетах показывает, что в благоприятных горно-геологических условиях эксплуатация секций крепи 1MT без использования специальных средств обеспечения боковой устойчивости (кривые I и II на рис. 3) на максимальной для первого типоразмера мощности пласта возможна до углов падения пласта не более 25°.

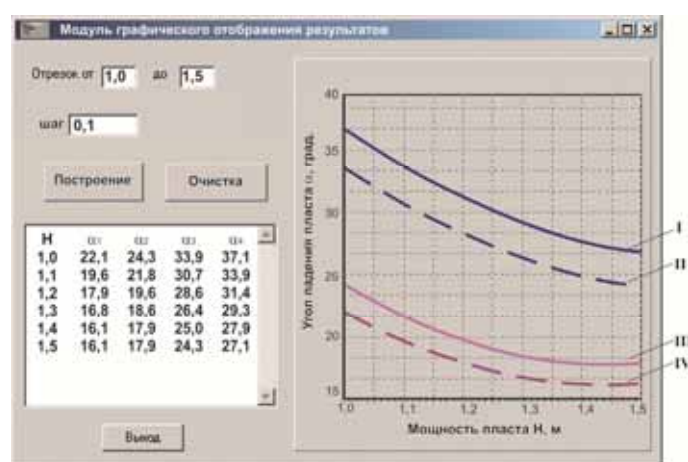


Рис. 3. Зависимость критического угла статической боковой устойчивости секции крепи 1MT от горно-геологических условий

Показано, что состояние почвы и кровли пласта оказывает существенное влияние на устойчивость секции крепи, уменьшая диапазон возможной ее работы по углу падения пласта на величину до 41%. Так, критический угол статической устойчивости секции крепи 1MT при разгрузке в лаве со слабой почвой и неустойчивой, отслоившейся кровлей снижается до 15° (кривые III и VI на рис. 3).

Для расширения области эксплуатации

$$n = \frac{Gl_b \cos \alpha + T_n (l_b + f_{кр} H) + T_1 h_1 + T_2 f_{TP} (l - \Delta b) + Q_y l_y K_c}{GH_{dT} \sin \alpha + S_r (l_1 - \Delta b) t \arcsin \frac{a}{l_{целн}}} \quad (13)$$

Разработан алгоритм (рис. 4) и программа на языке DELPHI [8], позволяющие используя формулу (13) определить давле-

механизированных крепей до 35° и повышения запаса устойчивости необходимо применение специальных систем устойчивости [5].

Запас устойчивости секции крепи в процессе однократного перемещения равен отношению моментов удерживающего  $\Sigma M_{уд}$  и опрокидывающего  $\Sigma M_{опр}$  секцию. С учетом формул (1)-(11) получим выражение для запаса устойчивости:

ние, необходимое для удержания секции от опрокидывания.

Зависимость требуемого давления  $P_{гп}$  в гидропатроне, обеспечивающего устойчивость секции крепи для различных углов падения  $\alpha$  и мощности пласта  $H$  приведена на рис. 5. Анализ результатов расчета показывает, что при отсутствии в лаве горно-геологических нарушений рассматриваемая конструкция механизма устойчиво-

сти обеспечивает (при давлении в гидропатроне до 20 МПа) удержание секций крепи от бокового опрокидывания на углах падения пласта до  $35^\circ$  и мощности пласта до 1,5 м (график I, рис. 5). При отклонении секций крепи от нормального положения этого давления уже недостаточно для их восстановления (график 2, рис. 5).

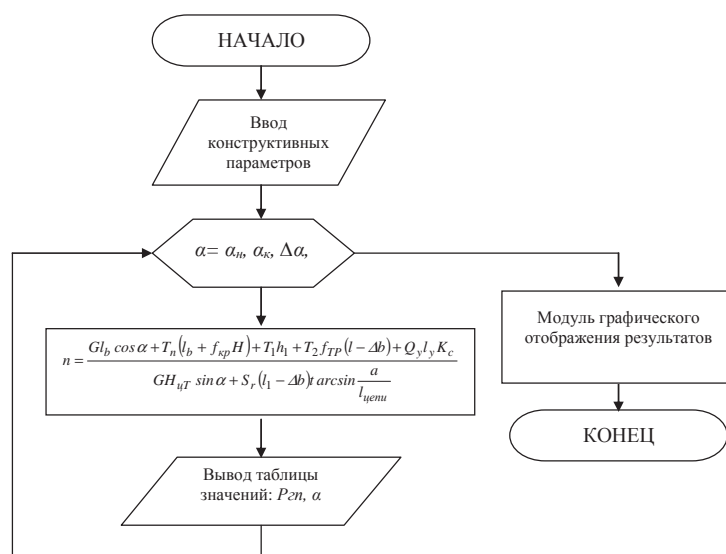


Рис. 4. Блок-схема алгоритма расчета запаса устойчивости

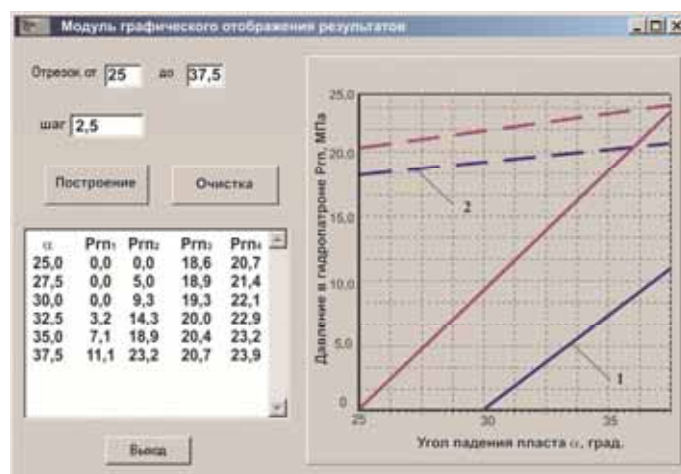


Рис. 5. Зависимость требуемого давления в гидропатроне от угла падения пласта

Предыдущие исследования были выполнены для коэффициентов запаса устойчивости  $n$ , равного единице. Однако, изменение горно-геологических условий в процессе продвижения забоя при отработке столба и, даже, по длине самой лавы, требует обеспечения запаса устойчивости, величина которого зависит от условий эксплуатации механизированной крепи [6].

На рис. 6 приведены зависимости запаса боковой устойчивости секций крепи 1МТ при мощности пласта  $H = 1,5$  м для различных углов падения пласта  $\alpha$  и состояния почвы и кровли пласта (графики I-IV). Секции не оборудованы системой устойчивости.

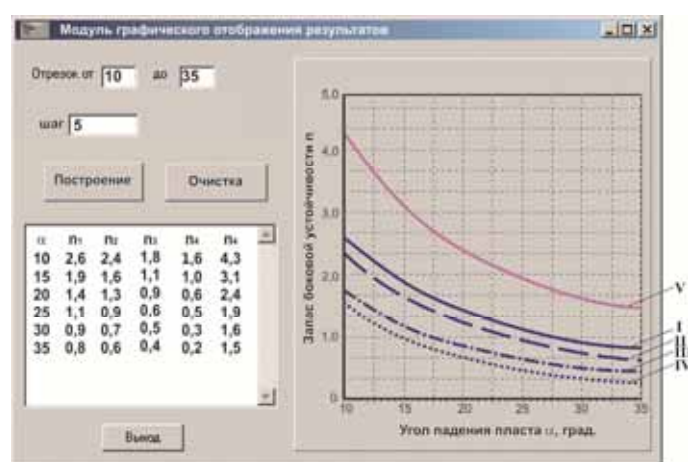


Рис. 6. Зависимость запаса боковой устойчивости секций от угла падения пласта при передвижении с подпором

Отмечаем, что статическая устойчивость секций крепи 1МТ (без системы устойчивости и без подпора) обеспечивается: кровля устойчивая  $h_{кр} = 0$ , почва прочная  $\Delta b = 0$  на углах падения пласта до  $25^\circ$  (кривая I, рис. 6); кровля устойчивая  $h_{кр} = 0$ , почва слабая – до  $23^\circ 30'$  (кривая II, рис. 6); кровля неустойчивая, отслоившаяся  $h_{кр} = 0,5$  м, почва прочная  $\Delta b = 0$  – до  $18^\circ$  (кривая III, рис. 6); кровля неустойчивая, отслоившаяся  $h_{кр} = 0,5$  м, почва слабая – до  $16^\circ$  (кривая IV, рис. 6). Учитывая изложенное, для запасов устойчивости  $n = 1,3-1,5$  можно рекомендовать эффективную работу секций крепи 1МТ без системы устойчивости в благоприятных горно-геологических условиях на пластах с угла-

ми падения до  $20^\circ$ , а в неблагоприятных условиях – до  $10^\circ$ .

На рис. 6 (график V) показаны зависимости запаса устойчивости секций 1МТ от угла падения пласта для сложных горно-геологических условий:  $h_{кр} = 0,5$  м,  $\Delta b = 0,06$  м при работе с подпором  $T_n = 20$  кПа с учетом отрицательного влияния на устойчивость вертикальной составляющей тягового усилия гидродомкрата передвижения  $S_o = 12,2$  кН.

Движение секций с подпором обеспечивает запас устойчивости крепи во всем диапазоне мощности пласта  $H = 1,0-1,5$  м. Причем, запас устойчивости при  $H = 1,5$  м,  $\alpha = 35$ , равен  $n = 1,5$  [7].

Проведена оценка запаса устойчивости секций крепи с системой устойчивости при

$H = 1,5$  м,  $S_o = max$ ,  $T_n = 0$  для различных горно-геологических условий. Анализ результатов показывает, что использование системы устойчивости повышает коэффициент ее запаса в 1,65 раза с 0,7 (рис. 6, кривая I,  $\alpha = 35^\circ$ ) до 1,15 (рис. 7, кривая 1,  $\alpha = 35^\circ$ ) при мощности пласта  $H = 1,5$  м, благоприятных горно-геологических условиях  $\Delta b = 0$ ;  $h_{кр} = 0$ , давлении в гидропатроне  $P_{zn} = 60$  МПа, и диаметре гидропатрона системы устойчивости  $d_{zn} = 60$  мм. Увеличение диаметра гидропатрона с 60 до 80 мм повышает запас устойчивости в 1,3

раза, т.е. с 1,15 до 1,5 при тех же условиях.

В сложных горно-геологических условиях ( $h_{кр} = 0,5$  м,  $\Delta b = 0,05$  м) запас устойчивости секций крепи резко снижается с 1,15 (кривая 4,  $\alpha = 35^\circ$ ) до 0,5 (кривая 1,  $\alpha = 35^\circ$ ), т.е. в 2,3 раза (рис. 7). Увеличение давления в гидропатроне системы устойчивости не сказывается существенно на росте запаса устойчивости секций крепи (кривые 1, 2, рис. 7), а увеличение диаметра гидропатрона с 60 до 80 мм повышает запас устойчивости в 1,3 раза (кривые 2, 3, рис. 7).

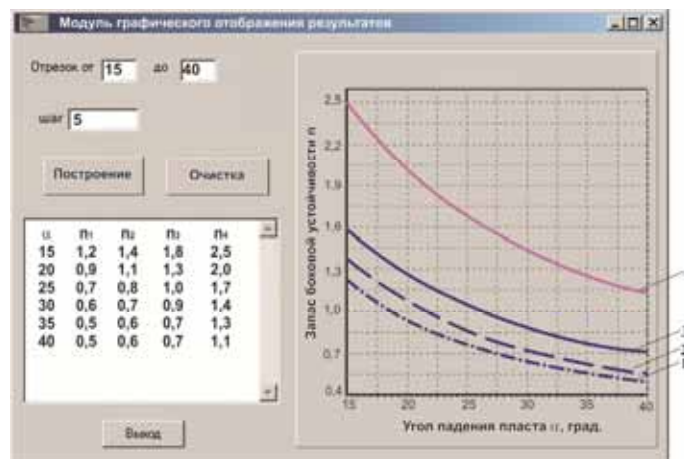


Рис. 7. Зависимость запаса боковой устойчивости секций от угла падения пласта при использовании системы устойчивости

## Выводы

Таким образом, выполненными исследованиями установлено, что обязательным условием эффективной эксплуатации секций крепи ИМТ (в благоприятных горно-геологических условиях на пластах с углом падения свыше  $20^\circ$  и в сложных – свыше  $10^\circ$ ) является передвижение секций с подпором.

Использование разработанного программного комплекса для расчета параметров устойчивости, позволило подтвер-

дить, что назначение системы устойчивости – удержать от наклона секции крепи в разгруженном состоянии и восстанавливать их в нормальное положение в разгруженном состоянии в статике и при передвижении.

Наглядность представления результатов расчетов с помощью разработанного модуля графического отображения результатов на ПЭВМ облегчило анализ полученных данных и дало возможность показать, что наиболее эффективно устойчивое положение обеспечивается секциониро-



ванным питанием гидропатронов механизмов устойчивости и передвижение секций механизированной крепи с подпором. Вы-

полнение этих условий повышает эффективность и надежность работы секций крепи на наклонных пластах.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Садыков, Н.М. Исследование устойчивости крепей М87ДН на пластах наклонного падения [Текст]: сб. трудов ВНИМИ / Н.М. Садыков. – М., 1969. – № 08. – С. 30-35

2. Шеин, Ю.Г. К выбору системы управления механизированными крепями [Текст]: научные сообщения / Ю.Г. Шеин. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1982. – Вып. 208. – С. 50-54.

3. Рабинович, М.С. Элементы и системы автоматического управления гидрофицированными крепями [Текст] / М.С. Рабинович, Я.Л. Красик, Н.Н. Кулаков и др. – М.: Недра, 1977. – 256 с.

4. Пономаренко, Ю.Ф. Инженерная методика проектного расчета параметров гидросистемы механизированных крепей [Текст] / Ю.Ф. Пономаренко, А.А. Баландин. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1981. – 22 с.

5. Гребенкин, С.С. Горные машины и комплексы для подземной добычи угля [Текст]: монография / под общ. ред. С.С. Гребенкина // С.С. Гребенкин, В.Н. Павлыш, В.И. Зензеров и др. – Донецк: ВИК, 2006. – 353 с.

6. Гребенкин, С.С. Математические модели и мето-

ды расчета параметров подземных горных работ и добычного оборудования [Текст]: монография / под общ. ред. С.С. Гребенкина и В.Н. Павлыша // С.С. Гребенкин, В.Д. Рябичев, В.Н. Павлыш, П.Н. Должиков, В.И. Зензеров. – Донецк: ВИК, 2007. – 385 с.

7. Гребенкин, С.С. Основы создания и эффективной эксплуатации систем жизнеобеспечения очистного оборудования для угольных шахт [Текст]: монография / С.С. Гребенкин, В.В. Косарев, С.Е. Топчий, Н.И. Стадник, В.И. Зензеров, В.В. Стеблин, Б.А. Перепелица, В.Н. Поповский. – Донецк: «ВИК», 2009. – 375 с.

8. Бобровский, С.И. Delphi 7. Учебный курс [Текст]: СПб.: Питер, 2008. – 736 с.

## ОБ АВТОРАХ

Зензеров Владимир Иванович – к.т.н., доцент кафедры вычислительной математики и программирования Донецкого национального технического университета.

Гребенкина Александра Сергеевна – к.т.н., доцент кафедры высшей математики Донецкого национального технического университета.

