

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ И ТИПА НАКОНЕЧНИКА ИНДЕНТОРА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ БЕЗБУРОВОГО ОБРАЗОВАНИЯ СКВАЖИН В УГЛЕПОРОДНОМ МАССИВЕ

Булат А.Ф., Курносое С.А., ИГТМ НАН Украины, г. Днепронетровск

Изучение процесса образования скважин методом задавливания инденторов в углеродородный массив вызвано многими причинами, в частности, возможностью исключить непроизводительные операции по бурению шпуров, обеспечить полную механизацию и дистанционное управление процессом при активном управлении напряженным состоянием призабойной части угольного пласта.

Поскольку индентор имеет заостренную концевую часть, называемую наконечником, который при внедрении в прочную среду встречается сильное сопротивление массива, чем может вызвать изменение направления задавливания, искривление и изгиб индентора. Для исключения неосевого нагружения и сохранения заданного направления, а также снижения усилия задавливания индентора важную роль играет правильный выбор формы и типа наконечника.

Изучение процесса безбурового образования скважин с инденторами различных наконечников выполнено в лабораторных и шахтных условиях. Результаты исследований позволили установить, что на усилие внедрения инденторов влияют их конструктивные параметры и в первую очередь тип и форма наконечника, его диаметр, угол заострения, а также прочность среды, в которую он внедряется.

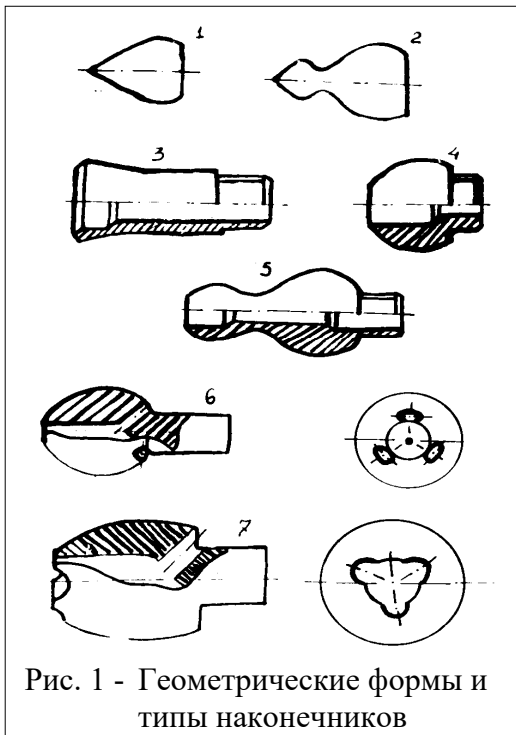


Рис. 1 - Геометрические формы и типы наконечников

При оценке влияния геометрической формы наконечника на усилие его внедрения выявлено ряд конструктивных признаков, по которым составлены условные обозначения и дано деление на группы в зависимости от характера взаимодействия наконечника с массивом (рисунок 1). К первой группе отнесены наконечники, которые при внедрении в массив уплотняют стенки скважины (1 и 2). Ко второй – наконечники, которые при внедрении перепускают разрыхленную массу через себя (3). К третьей группе – наконечники, которые при внедрении в горную массу частично уплотняют ее, а частично перепускают через себя (4-7).

Влияние указанных форм и типов наконечников на напряженно-деформированное состояние массива при их внедрении изучали на оптически активных материалах в лабораторных условиях. В качестве оптически активного материала выбран желатиногель ХС, обладающий свойствами упруго-пластического разрушения. Критерии подобия модели соответствовали

прочностным, деформационным, силовым и геометрическим параметрам исследуемой среды, в качестве которой выбран пласт m_3 – «Толстый» шахты им. Ф.Э. Дзержинского ГХК «Дзержинскуголь» (таблица 1).

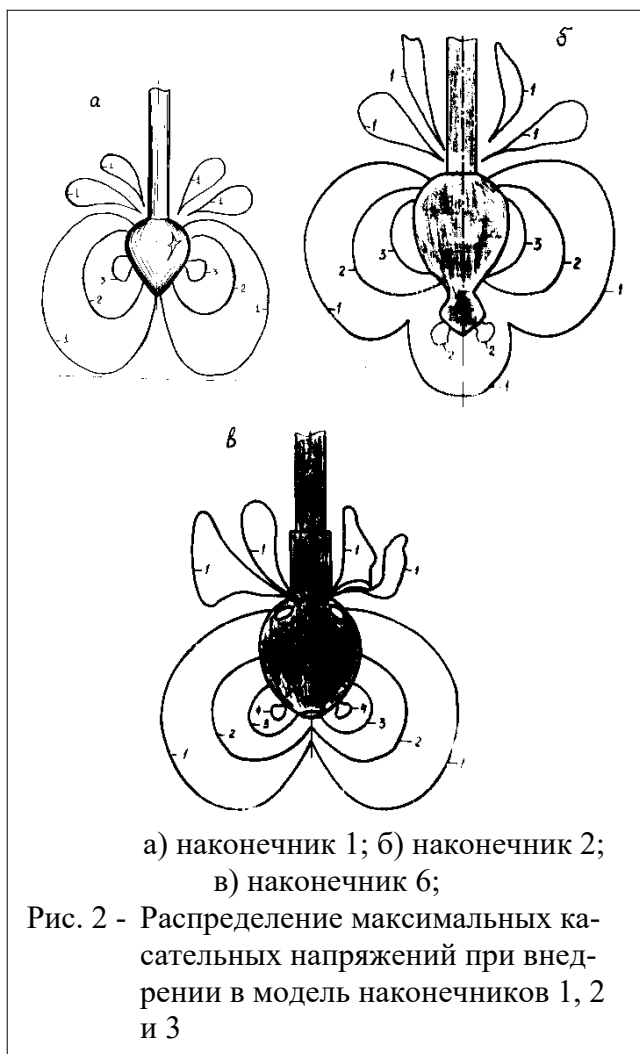
Таблица 1 - Физико-механические характеристики пласта m_3 и вмещающих пород

Наименование	Предел прочности на сжатие, $\sigma_{сж.}$, МПа	Предел прочности на растяжение, σ_p , МПа	Модуль упругости, E , ГПа	Мощность пород, m , м	Глубина разработки, H , м
Угольный пласт	6,9	0,22	1,5-2,0	1,62	916
Непосредственная кровля (гл. сланец)	54,0	6,20	48,7	4,70	916
Непосредственная почва (гл. сланец)	48,0	5,60	61,0	4,00	916

Результаты исследований представлены в табл. 2, из которой видно, что наибольшую скорость внедрения имеет индентор с наконечником 1, 2, 6 и 7.

Таблица 2 - Экспериментально-усредненные зависимости времени и скорости внедрения инденторов с различными типами наконечников

№ наконечника	Глубина внедрения, $l \times 10^{-3}$, м	Среднеарифметическое время внедрения, $t_{cp.}$, с	Среднеквадратическая погрешность, S , с	Коэффициент, $w = (S/t_{cp.}) \cdot 100\%$, %	Доверительный интервал, $\pm \Delta x$, с	Средняя скорость внедрения, $\bar{v} = (l/t_{cp.}) \cdot 10^{-3}$, м/с
1	20	2,60	1,80	69,00	0,855	12,50
	40	3,25	2,40	74,00	1,140	16,00
	60	4,80	3,80	79,00	1,800	20,00
	80	8,00	6,80	85,00	3,230	20,00
	100	6,30	5,30	96,00	3,000	15,80
	120	11,00	9,00	82,00	5,000	10,90
	140	18,80	12,00	64,00	6,700	7,40
	160	30,20	17,30	57,00	9,700	5,30
	180	49,30	27,40	56,00	15,300	3,65
	200	85,00	31,00	36,50	21,000	2,35
2	100	8,90	3,70	41,57	5,900	11,20
	120	16,75	7,90	47,16	12,600	7,16
	140	27,75	12,60	45,40	20,000	5,05
	160	43,00	16,30	38,00	26,000	3,70
	180	72,00	22,80	31,70	36,500	2,50
	200	104,30	40,50	38,80	102,000	1,90
6	100	45,30	17,60	38,90	44,500	2,20
	120	68,30	17,58	25,70	44,460	1,76
	140	74,00	12,70	17,16	115,000	1,89
	160	111,00	1,40	1,26	12,700	1,44
	180	151,50	2,90	1,90	26,300	1,19
	200	193,50	12,00	6,20	108,900	1,00
7	60	10,00	8,00	80,00	12,800	6,00
	80	18,00	11,50	63,90	18,400	4,40
	100	40,50	18,30	45,20	29,300	2,50
	120	56,00	30,00	53,57	75,880	2,14
	140	79,00	41,30	52,30	104,500	1,77
	160	107,70	51,85	48,00	131,150	1,50
	180	141,00	66,80	47,40	169,000	1,30



При внедрении индентора с наконечником 1 скорость внедрения растет до достижения критической глубины. В данном случае $l_{кр} \approx (6 \div 8)d$, т.е. до достижения глубины 0,06 м. По мере внедрения индентора с поверхностью наконечника происходит уплотнение желатиногеля в стороны стенок скважины, что видно по распределению изолиний максимальных касательных напряжений (рис. 2,а). Индентор с наконечником 2 на начальном этапе внедрялся с более высокой скоростью, чем с 1 за счет большого угла заострения, но после достижения критической глубины $l_{кр} \approx (4 \div 6)d$ и за счет большой площади трения, скорость внедрения резко снизилась. Из графика максимальных касательных напряжений (рис.2,б) видно, что в этом случае напряжения развивались по бокам наконечника и частично впереди, даже после прохождения критической глубины.

Инденторы с наконечниками 3, 4 и 5 трубчатого типа. При их внедрении в модель желатиногель заходил во внутреннюю полость трубок, создав дополнительное трение с внутренними стенками наконечника и трубы индентора. По этой причине под воздействием силы $P = 0,5$ кг эти наконечники не преодолели критическую глубину. Касательные напряжения при их внедрении возникали, в основном, впереди наконечника.

Благодаря конструктивным особенностям наконечников 6 и 7 (см. рис.1) частично решены вопросы снижения трения наконечников о стенки скважины, а значит и снижения концентрации напряжений. Разрыхленный наконечником массив, входя через переднее отверстие, делился на части (в данном случае на 3 части) и выходил наружу из тыловых отверстий наконечника. Тыловые отверстия сделаны под углом и освобождающийся при этом столбик вырезанного желатиногеля упирался в стены образовавшегося отверстия и по принципу реактивной силы увеличивал усилие для внедрения наконечника. Наконечники 6 и 7 отличались друг от друга размерами отверстий.

При внедрении индентора с наконечником 6 изолинии напряжения распределялись, в основном, в боковой части и замыкались впереди него (рис.2, в). Это значит, что внедряясь в массив, наконечник уплотнял его по периметру и частично срезал впереди, уменьшая нагрузку на боковые части.

При внедрении индентора с наконечником 7 изолинии максимальных ка-

сательных распределялись в основном впереди наконечника и частично по периметру, т.е. наконечник работал, в большей мере, на срез и только частично уплотнял массив по бокам. Выходящая разрушенная часть массива модели из тыловых отверстий наконечника создавала дополнительное трение, снижая параметры внедрения индентора.

Критическая глубина в этих случаях составляла $2d$. После достижения глубины 0,02 м скорость внедрения интенсивно падала, а на глубине 0,06-0,08 м стабилизировалась. При этом ускорение почти приближалось к нулю, чего не наблюдалось при внедрении первых двух наконечников. Результаты исследований позволили сделать вывод, что с увеличением глубины внедрения боковое давление на наконечники увеличивается и это в большей степени сказывается на первых двух наконечниках (1 и 2). При сравнении наконечников 1 и 2 с 6 и 7 выясняется, что средняя скорость первых двух, примерно, в 2 раза выше, но по мере увеличения глубины скорости внедрения выравниваются.

Таким образом, при образовании скважины в ненапряженной среде целесообразно применять инденторы с наконечниками первых двух типов, которые при внедрении вытесняют массив в стороны, уплотняя его. В натуральных условиях, как известно, массив находится в напряженном состоянии и в этих случаях целесообразно применять инденторы с наконечниками 6 и 7, которые при внедрении срезают массив и дают возможность разрыхленной массе не уплотнять стенки скважины, а выходить за наконечник.

Исходя из масштабов моделирования, усилие внедрения индентора с диаметром наконечника 0,05 м в угольный пласт на глубину 1 м можно определить по известной зависимости [1]

$$P_{\text{натур}} \approx P_{\text{модели}} \frac{\sigma_{\text{натур}}}{\sigma_{\text{модели}}} \cdot \alpha^2, \quad (1)$$

где α - геометрический масштаб. Для модели $\alpha = 5$; $\sigma_{\text{натур}}$ - предел прочности на одноосное сжатие, для Донецких углей - $\sigma_{\text{СЖ}} \approx 50 \text{ МПа}$; $\sigma_{\text{модели}}$ - предел прочности равный $\sigma_{\text{модели}} \approx 0,175 \text{ МПа}$.

При общей относительно большой несущей способности призабойной части пласта максимальная удельная нагрузка, необходимая для её разрушения на расстоянии (2,5-3) м от кромки, примерно равна пятикратной величине сопротивления одноосному сжатию в куске для однородных пластов разной степени трещиноватости [2]. Откуда следует, что $\sigma_n \approx 5\sigma_{\text{СЖ}}$.

Подставляя искомые значения в выражение (1), получим, что для Донецких углей величина усилия внедрения индентора составит $P_n \approx 17,8 \text{ кН}$.

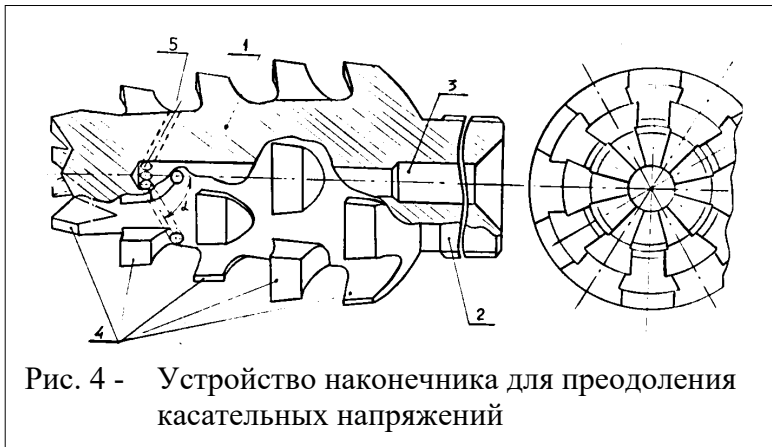
Таким образом, исследованиями на моделях из оптически активных материалов показано, что для плавного внедрения индентора в напряженную среду необходим такой наконечник, который не уплотнял бы массив, а пропускал его через себя.

Для решения задачи удаления штыба в ИГТМ НАН Украины [3] разработан наконечник, показанный на рис. 3,а, а для преодоления касательных напряжений – на рис.3,б.



подачи промывочной жидкости (рис. 4).

Второй наконечник состоит из эллипсообразной металлической оболочки с острым концом, которая на подшипниках установлена на ось. На оболочке снаружи вырезаны винтообразные канавки, назначение которых при внедрении



В первом наконечнике величина среднего удельного давления при внедрении может значительно превосходить величину удельного давления, необходимого для осуществления процесса резания [4]. Наконечник снабжен резцами, расположенными по его длине в шахматном порядке. Поверхность образующей резцов передней части наконечника выполнена в виде усеченного конуса, а задней – в виде цилиндрической поверхности. В конусной части наконечника, непосредственно за задними гранями резцов, имеются каналы, связанные с центральным осевым отверстием и расположены к нему под углом для

способствовать вращению оболочки вокруг не вращающегося вала, преодолевая, таким образом, касательные напряжения, возникающие при трении с массивом. Испытания этих наконечников проведены в лабораторных условиях на эквивалентных материалах. Состав углецементного раство-

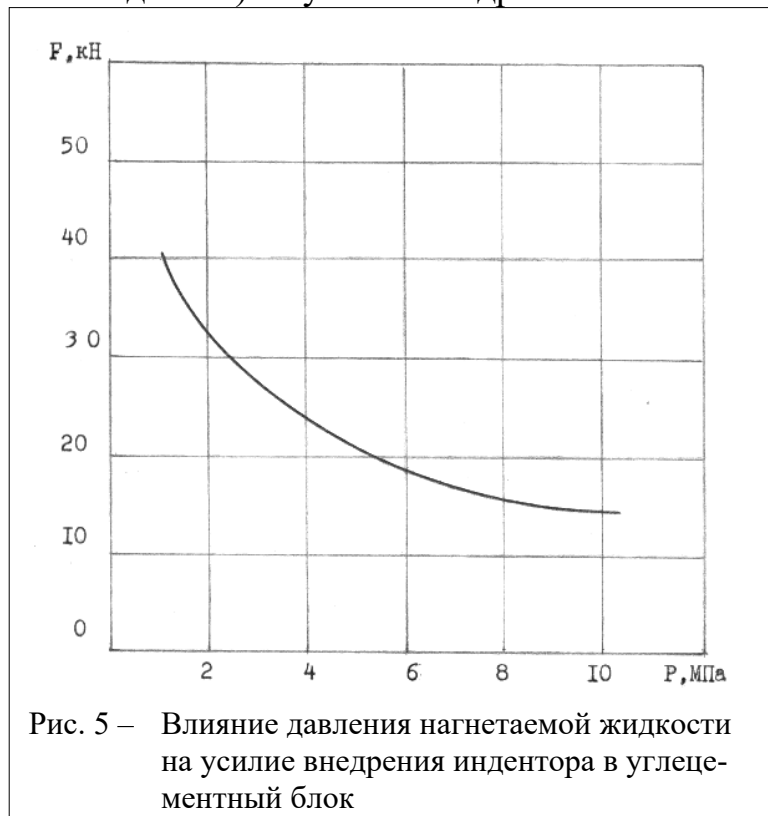
ра выбран в соответствии с рекомендациями отделов испытаний горных машин ДонУГИ и ДонГипроуглемаш, согласно которым вязкость углецементного блока увеличивается пропорционально увеличению состава угля мелкой фракции, и состоял из антрацитовых углей фракции 0-6 мм и 13-25 мм в соотношениях от 1:1,5 до 1:2, цемента марки 400 и воды. Блоки получали путем заливки указанным раствором двухполовинчатой металлической трубы диаметром 0,3 м и высотой 1 м. Прочность углецементных блоков определяли по результатам испытания на прессе образцов кубической формы размерами 0,06×0,06×0,06 м и 0,16×0,16×0,16 м.

Контроль физических процессов, происходящих в углецементном блоке при внедрении в него инденторов осуществляли индикаторами деформации ИИД-3. Для чего по длине металлической трубы наклеивали тензометрические датчики. Труба, в которой находился углецементный блок, сверху оснащена

направляющим приспособлением для поддержания и направления индентора. Усилия внедрения фиксировали показывающими манометрами пресса ПР-250М, а давление нагнетаемой в скважину жидкости – манометром, установленным на трубке, подключенным к индентору.

Для испытаний было изготовлено 6 углецементных блоков с пределом прочности их массива на одноосное сжатие: 2,7 МПа, 2,9 МПа, 3,2 МПа, 3,9 МПа, 7,75 МПа и 7,0 МПа соответственно.

Исследованиями на моделях из эквивалентных материалов решалась задача: установить влияние типа наконечника, его конструктивных параметров (диаметр, угол заострения), а также параметров технологии внедрения в углепородный массив (прочность массива, глубина погружения, давление нагнетаемой жидкости) на усилие внедрения.



Установлено, что при внедрении индентора с первым наконечником в углецементный блок 1 на глубину 0,10-0,12 м с давлением нагнетаемой жидкости 8-10 МПа максимальное усилие внедрения индентора составило 70 кН. После прекращения подачи воды усилие внедрения резко увеличивалось и достигло 120 кН, после возобновления подачи воды оно вновь уменьшилось и дальнейшее внедрение индентора на глубину 0,9 м происходило с усилием 75 кН при средней скорости 0,02 м/мин. Зависимость усилия внедрения индентора от давления нагнетательной жидкости имеет вид гиперболы (рис. 5) и определяется уравнением:

$$F = al^{eP}, \quad (2)$$

где F – усилие внедрения индентора, кН; P – давление нагнетательной жидкости, МПа; a и e – коэффициенты, определяемые экспериментальным путем.

Уравнение (2) путем логарифмирования приводится к линейной зависимости между F и P . Для оценки a и e использован метод наименьших квадратов.

Коэффициент a зависит от величины статического усилия внедрения индентора F_{cm} . Зависимость параметра a от F_{cm} имеет линейный характер и аппроксимируется уравнением вида

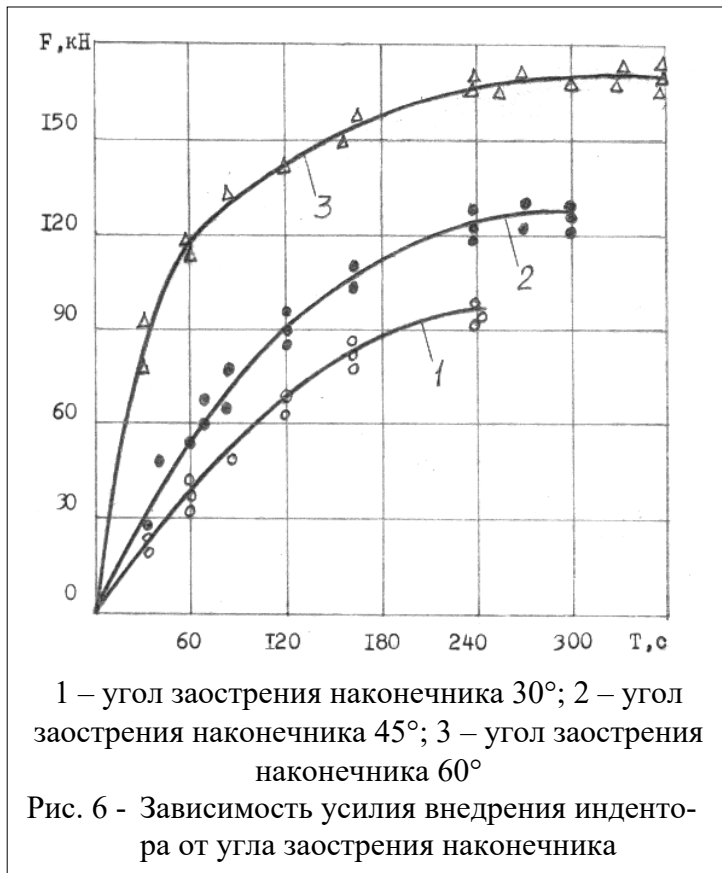
$$a = 44,5 + 0,01F_{cm}. \quad (3)$$

Коэффициент e , в зависимости от значения F_{cm} , изменяется незначитель-

но (относительно $\nu_{cp.} = -0,12$) и позволяет считать, что $F_{cm.}$ оказывает влияние на параметр a .

Подставляя (3) в (2), получим

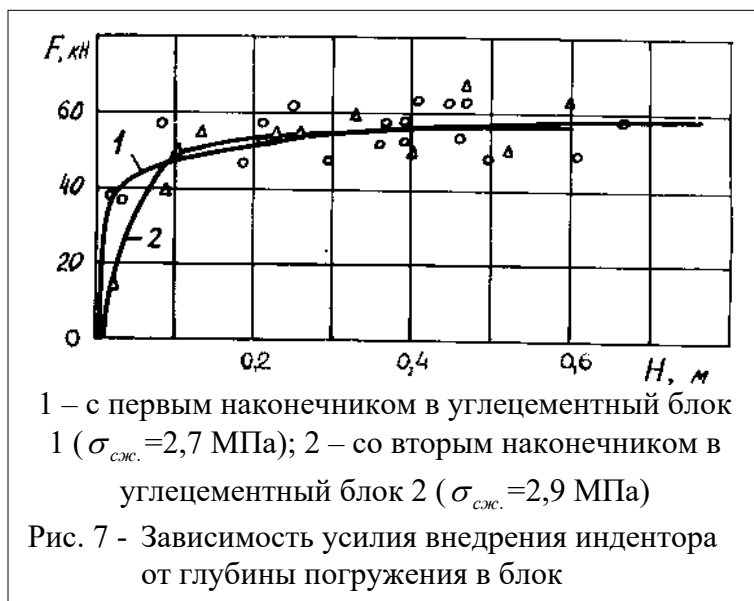
$$F = (44,5 + 0,01F_{cm.}) \cdot e^{-0,12P}. \quad (4)$$



Уравнение (4) справедливо в пределах изменения $F_{cm.}$ до 200 кН. Средняя относительная погрешность аппроксимации экспоненциальной зависимостью вида (2) не превышает 12 %, а определение коэффициентов a и ν – не более 19 %.

Максимальный расход воды за период внедрения индентора составил 50 л/мин.

Как показали исследования одним из важнейших конструктивных параметров индентора является угол заострения наконечника. Для экспериментов выбран первый тип наконечника (см. рис. 1) с углами заострения 30°, 45° и 60°. Результаты исследований представлены на рис. 6, из которого следует, что с увеличением угла заострения наконечника увеличивается начальное усилие внедрения в 1,5-2 раза и снижается скорость.



Наиболее существенное влияние на параметры внедрения индентора оказывает угол заострения наконечника свыше 45°.

На рис.7 показана зависимость усилия внедрения индентора от глубины погружения в углецементный блок. Исследования проводили на блоках различной прочности и во всех случаях получен аналогичный характер изменения усилия, который определяется

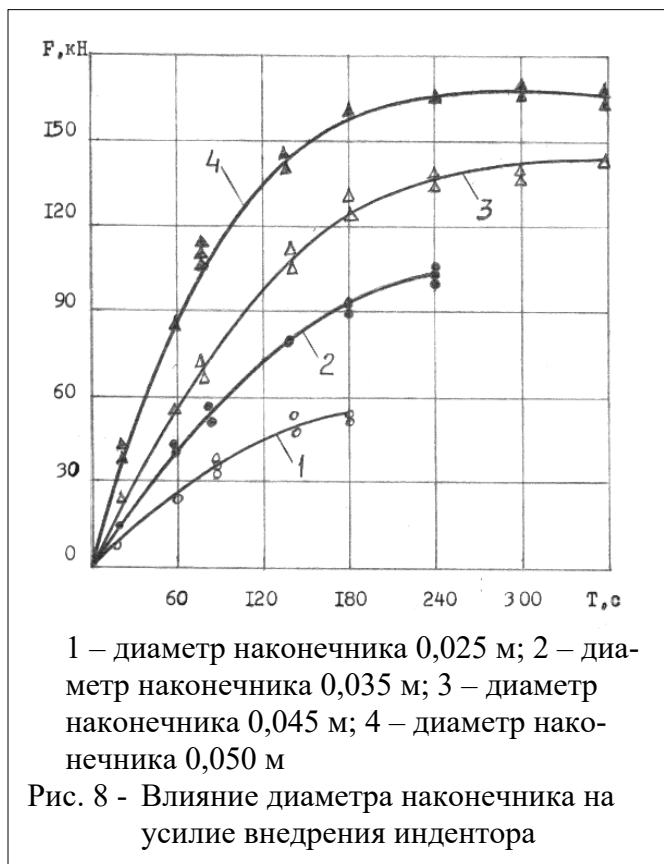
степенной функцией типа:

$$F = aH^n, \quad (5)$$

где H - глубина внедрения индентора, м; n - показатель степени; a - коэффи-

ент, зависящий от структуры и крепости углецементного блока. При внедрении 1-го типа наконечника на различных углецементных блоках зависимости имеют следующие значения: для 1-го блока - $F = 4,27H^{0,0828}$; для 4-го блока - $F = 5,4H^{0,09}$; для 5-го блока - $F = 6,9H^{0,09}$; для 4-го углецементного блока и 4-го типа наконечника $F = 5,4H^{0,12}$.

Из анализа полученных зависимостей следует, что с увеличением прочности массива усилие внедрения возрастает без изменения характера протекания процесса. Влияние глубины внедрения индентора на усилие внедрения сказывается лишь на начальной стадии, а затем оно стабилизируется. Влияние глубины внедрения не зависит от типа наконечника, что видно из сравнения графиков 1 и 2 на рис.7.



На втором углецементном блоке, который по прочности мало отличался от первого, испытывали наконечники 2 и 3, сходные по конструктивным характеристикам работы, но различного диаметра: 0,025 м, 0,035 м, 0,045 м, 0,050 м. Результаты исследований приведены на рис. 8, из которых видно, что зависимости имеют параболический характер, с увеличением диаметра наконечника в 2,0-2,5 раза увеличивается усилие внедрения индентора и примерно в 1,3-1,5 раза снижается скорость внедрения с 0,2 м/мин. при диаметре наконечника 0,050 м до 0,35 м/мин. при диаметре наконечника 0,025 м.

Аналогичный характер зависимостей получен при внедрении четвертого типа наконечника в углецементный блок. Например, при

внедрении указанного типа наконечника в пятый углецементный блок, прочность массива в котором в 1,9 раза превышает ранее описанные, на глубине 0,45 м усилие внедрения достигло 125 кН, при давлении нагнетательной жидкости 15 МПа скорость внедрения составила 0,133 м/мин.

Результаты выполненных лабораторных и шахтных исследований позволили сделать следующие выводы.

- Сила сопротивления внедрению индентора в массив при активном управлении его состоянием зависит от целого ряда природных, технологических и технических факторов. Среди технических факторов важное место занимает тип и форма наконечника.

- Установлено, что наконечники обычных типов (конические, цилиндрические, каплеобразные и др.), которые при внедрении уплотняют стенки сква-

жины, как правило, пригодны для мягкой среды с коэффициентом крепости не более 0,5 по шкале проф. М.М. Протодяконова. Для более прочной среды необходимы наконечники, которые при внедрении в массив пропускают разрыхленную массу через отверстия наконечника и только частично уплотняют стенки скважины.

- На эффективность внедрения инденторов в массив существенное влияние оказывают технические параметры наконечника (диаметр, угол заострения) и технологические процессы внедрения (прочность массива, давления нагнетательной жидкости, глубина внедрения). Доказано, что применение гидропромывки при внедрении индентора в 2 раза снижает усилие внедрения и примерно во столько же раз увеличивает скорость, угол заострения наконечника не должен превышать 45-50°.

- Разработанные и испытанные в лабораторных условиях новые типы наконечников доказали возможность внедрения инденторов в угольный массив средней прочности при сравнительно небольших усилиях 70-120 кН. Последнее позволило разработать экспериментальный образец установки и технологию внедрения инденторов в угольный пласт в том числе в условиях щитовой отработки крутопадающих пластов полосами по падению.

- Результаты шахтных испытаний экспериментального образца установки для внедрения инденторов в угольный массив забоя откаточного штрека пласта K_7^4 - «Сорока» и щитовой лавы пласта m_3 - «Толстый» шахты им. Ф.Э. Дзержинского ГХК «Дзержинскуголь» подтвердили выводы лабораторных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические положения по исследованию методом фотоупругости напряженного состояния массива горных пород с учетом их хрупкого разрушения.
2. Сапожников В.Т. Предельно-напряженное состояние угольного пласта // ФТПРПИ. – 1988. - №3. – С.56-60.
3. А.с. 929862 СССР, МКИ² Е 21F 5/00, Е 21F 7/00 Способ управления состоянием породного массива и устройство для его осуществления / А.Ф. Булат, С.А. Габриелян, А.Т. Курносое (СССР). – №4923621/03; Заявл. 25.02.91; Оpubл. 28.12.94. Бюл.№7.
4. Некрасов С.С. Соппротивление хрупких материалов резанию. – М.: Машиностроение, 1971.- 186 с.

РЕЗИНОВЫЕ ФУТЕРОВКИ РУДОРАЗМОЛЬНЫХ МЕЛЬНИЦ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

**Чижик Е.Ф., Гордиенко Н.А., Чижик Е.Е., Мельников О.К., Дырда В.И.,
«Полимет», ИГТМ НАН Украины, г. Днепрпетровск**

На сегодняшний день наиболее перспективным конструкционным материалом для защиты барабанов рудоразмельных мельниц от ударных нагрузок и износа является резина. Об этом свидетельствует многолетняя практика эксплуатации машин с резиновой футеровкой и многочисленные публикации, обзор которых дан в [1-3]; в этих публикациях подробно излагаются достоинства резиновой футеровки, ее преимущества по сравнению с другими типами футеровок, например, металлическими, ее экономическая целесообразность и технологические преимущества.