

Изобретение относится к способам проходки скважин, в частности, к термическому, и может быть использовано в горном деле при добыче полезных ископаемых.

Известны способы термической проходки скважин, включающие подачу в камеру сгорания горючего и сжатого кислорода, сжигание топливной смеси и подачу продуктов сгорания на забой скважины по одному, двум и более каналам с различными углами падения струи газов на забой при обязательном вращении бурового инструмента с расчетной угловой скоростью, согласованной со скоростью проходки скважины [1].

Недостатком известных способов является необходимость производства и подвода кислорода, необходимость согласования угловой скорости вращения со скоростью проходки скважины в конструкции бурового станка в зависимости от степени термобуримости пород, низкая скорость проходки скважин в хорошо термобуримых породах и невозможность проходки скважин в легкоплавких породах. При использовании кислорода температура струи достигает около 2000°C, а легкоплавкие породы, например, сланцы, плавятся при 1000-1200°C. На забое образуется вязкий слой жидкой породы, смешанный с газом. Он плохо удаляется из забоя и задерживает процесс передачи тепла вглубь массива. Процесс проходки скважины или замедляется, или совсем прекращается.

Наиболее близкие по технической сущности к заявленному является способ термической проходки скважин, включающий подачу в камеру горючего и сжатого воздуха, сжигание топливной смеси, формирование из продуктов сгорания с помощью сопла Лавала сверхзвуковой струи с зонами сжатия и расширения и направление этой струи по оси проходимой скважины 2.

Недостатки этого способа следующие.

Перегрев породы (вплоть до ее плавления) из-за высокой температуры струи в месте ее соприкосновения с породой на забое скважины, что снижает скорость проходки скважины и вызывает перерасход горючего. С другой стороны, возможна недостаточная передача тепла, если струя соприкасается с породой на забое не центром зоны расширения или порода имеет другие теплофизические свойства. Это также уменьшает скорость проходки или приводит к остановке проходки скважины. Другими словами, недостаток известного способа - в неоптимальности процесса передачи тепла породе для разрушения ее "шелушением" и низкая скорость проходки скважины.

Вторым недостатком известного способа является наличие малых величин радиальной скорости перемещения частиц газа в струе. А поэтому воздействие струи на породу не вызывает в ее поверхностном слое критических касательных напряжений, и скол породы под действием струи не осуществляется.

Задачей настоящего изобретения является повышение скорости проходки за счет уменьшения перегрева породы и увеличения скорости нарастания в разрушаемой породе касательных напряжений.

Поставленная задача решается тем, что в известном способе, включающем подачу в камеру сгорания горючего и сжатого воздуха, сжигание топливной смеси и подачу продуктов сгорания в виде сверхзвуковой струи с зонами сжатия и расширения посредством сопла Лавала на забой скважины преимущественно вдоль оси скважины, формирование сверхзвуковой газовой струи производят в виде недорасширенной струи со степенью нерасчетности от 1,15 до 1,45 по отношению к атмосферному давлению.

Затем путем шагового перемещения сопла Лавала добиваются поочередного совмещения центров зон расширения струи с поверхностью забоя, определяют скорость проходки на каждом шаге и перемещают сопло Лавала в сторону забоя на расстоянии, соответствующем максимальной скорости проходки.

Сопоставительный анализ с прототипом показывает, что заявленный способ отличается тем, что газовую струю формируют в виде недорасширенной струи со степенью нерасчетности от 1,15 до 1,45 по отношению к атмосферному давлению, и для конкретного типа горной породы устанавливают расстояние между соплом Лавала и забоем скважины, обеспечивающее максимальную скорость проходки скважины. Это достигается тем, что в результате экспериментальных исследований для каждой горной породы определяют номер наиболее эффективной зоны расширения, центральной частью которой газовая струя соприкасается с конкретной породой на забое скважины и передает ей тепло при температуре, обеспечивающей наиболее эффективную для разрушения породы передачу тепла и механической энергии струи и не допускающей ее перегрева или плавления. Затем перед спуском работающего сопла Лавала в скважину измеряют расстояние от выходного торца сопла Лавала до центра наиболее эффективной зоны расширения, соответствующей данной конкретной породе, после чего опускают сопло Лавала на забой скважины до касания с ним и поднимают на высоту, равную упомянутому расстоянию, а потом устанавливают скорость подачи сопла Лавала на забой скважины, равную максимальной для данной конкретной породы скорости проходки скважины, и ведут проходку на этой скорости.

Недорасширенная сверхзвуковая газовая струя в сравнении с расчетной имеет более высокую дальнобойность, выраженную в более слабом уменьшении осевой скорости и температуры газа на одном и том же расстоянии от сопла Лавала. Эта струя также имеет намного большую амплитуду изменения радиальной скорости, меняющей направление в пределах каждой бочки на противоположное. Ударяясь о породу на забое скважины, струя не только передает ей тепло для расширения и "шелушения", но и вызывает в породе колебательные процессы высокой интенсивности, вызывающие дополнительные растягивающие деформации перпендикулярно поверхности забоя. Радиальные перемещения газа в соприкасающейся с породой зоне расширения струи способствуют созданию в породе переменных касательных напряжений и деформаций, обеспечивающих более быстрый скол кусков породы на площади достаточной для проходки скважины требуемого диаметра. Поскольку каждая зона расширения струи обладает своим набором температуры, осевой и радиальной скорости, то выбор зоны расширения определяет скорость подачи сопла Лавала на забой, равную установленной в эксперименте максимальной скорости проходки скважины без перегрева и плавления конкретной горной породы. Но из всех недорасширенных сверхзвуковых газовых струй для настоящего изобретения существенное значение имеют струи со степенью нерасчетности от 1,15 до 1,45. Струи с меньшей нерасчетностью не обеспечивают необходимого набора переменных касательных напряжений критической амплитуды для разрушения различных по прочности пород, потому что все зоны расширения струи почти одинаковы и радиальные скорости газа в них близки между собой. Струи с высокой нерасчетностью имеют мало зон расширения, а поэтому в них нет необходимого набора соотношений температур и скоростей для высокоэффективного разрушения различных горных пород при проходке скважин. Таким образом, применение сверхзвуковой недорасширенной газовой струи со степенью нерасчетности от 1,15 до 1,45 позволяет использовать не только тепловую, но и механическую энергию струи и повысить скорость проходки скважины,

исключив плавление или перегрев породы. Установка в скважине сопла Лавалья на расстоянии от забоя, равном расстоянию от торца сопла до середины наиболее эффективной зоны расширения струи, и осуществление подачи сопла Лавалья на забой со скоростью, установленной для каждой горной породы в эксперименте, обеспечивают максимальную скорость проходки скважины.

Сущность изобретения поясняется чертежами, где:

на фиг. 1 представлена схема формирования нерасчетной сверхзвуковой газовой струи до спуска сопла Лавалья в скважину; на фиг. 2 представлена схема распределения осевых и радиальных скоростей в пределах одной зоны расширения газовой струи; на фиг. 3 представлена схема соприкосновения средней части зоны расширения газовой струи с породой на забое скважины; на фиг. 4 представлена схема скалывания газовой струей кусочков растресканной породы и выноса их из забоя в скважину; на фиг. 5 представлена схема скалывания газовой струей кусочков растресканной породы в случае несовмещения середины зоны расширения с забоем скважины.

Предлагаемый способ осуществляют с помощью известного термобурильного аппарата (фиг.1), содержащего цилиндрическую камеру сгорания 1, каналы подачи топлива 2 и сжатого воздуха 3, турбину 4, воспламенитель 5 и сопло Лавалья 6. Каналы 2, 3, турбина 4 и воспламенитель 5 установлены на входе в камеру сгорания 1, а сопло Лавалья - на выходе. Сопло Лавалья 6 в средней своей части 7 имеет наименьший диаметр  $D_{\min}$ , а на выходе 8 (выходной торец) в атмосферу - наибольший диаметр  $D_{\max}$ .

Запуск термобурильного аппарата осуществляют следующим образом. По каналу 3 через турбину 4 в камеру сгорания 1 подают сжатый воздух, который закручивается турбиной 4. Одновременно по каналу 2 в камеру сгорания 1 подают топливо, в результате чего в камере сгорания 1 образуется топливо - воздушная смесь 9. Одновременно с этим воспламенитель 5 создает искровой разряд, воспламеняющий смесь 9. Образующиеся газы 10 устремляются к выходу из камеры и проходят через среднюю часть 7 сопла Лавалья 6 со скоростью звука, обеспечиваемой расчетным значением диаметра  $D_{\min}$ , вычисляемого по известным в газовой динамике формулам [4]

$$D_{\min} = \sqrt{\frac{40 \cdot G \cdot \sqrt{0,1 \cdot R \cdot T_1}}{\pi \varphi_m \cdot P_1}} \quad (1)$$

где  $G$  - расход газовой смеси, кг/с;

$R$  - универсальная газовая постоянная, дж/кг-град.;

$T_1, P_1$  - абсолютная температура ( $^{\circ}\text{K}$ ) и давления (Па) газа 10 в камере сгорания 1;

$$\varphi_m = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot k}{k-1} \left( \frac{2}{k+1} \right)^{2/(k-1)}}$$

$g$  - абсолютное ускорение силы тяжести,  $\text{м/с}^2$ ;

$k$  - показатель адиабаты газовой смеси;

$\pi$  - 3,14159.

После прохождения газами средней части 7 сопла Лавалья 6 газы расширяются и на выходе из сопла Лавалья 6 в сечении 8 имеют скорость выше скорости звука.

Скорость газов  $W_2$  на выходе из сопла Лавалья 6 в сечении 8 определяется по формуле

$$W_2 = \sqrt{0,2 g \frac{k}{k+1} R T_1 \left[ 1 - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} \quad (2)$$

где  $P_2$  - давление газа на выходе из сопла Лавалья 6 в сечении 8, Па.

Диаметр  $D_{\max}$  в сечении 8 на выходе сопла Лавалья 6 вычисляют по формуле

$$D_{\max} = \sqrt{\frac{4 \cdot G \cdot R \cdot T_2}{\pi \cdot P_2 \cdot W_2}} \quad (3)$$

где  $T_2$  - температура газа в сечении 8 сопла Лавалья 6, (K);

$$T_2 = T_1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (4)$$

Если давление газа  $P_2$  в сечении 8 равно делению  $p_n$  окружающей среды, то считают, что сопло Лавалья работает в расчетном режиме, а если  $P_2 \neq P_n$ , то это уже нерасчетный режим.

При  $P_2 > P_n$  режим называют недорасширенным, а при  $P_2 < P_n$  - перерасширенным.

Отношение

$$n = \frac{P_2}{P_n} \quad (5)$$

при  $P_2 > P_n$  называют степенью нерасчетности недорасширенного режима работы сопла.

На выходе 8 из сопла Лавалья 6 газы 10 имеют форму струи 11.

Для данного изобретения существенное значение имеет недорасширенный режим работы сопла Лавалья. Струя 11 в этом случае называется недорасширенной струей со степенью нерасчетности  $n > 1$  и имеет вид вытянутого факела с переменным сечением. В факеле чередуются несколько зон расширений 12, 14, 16, 18, 20, 22, называемых "бочками", и зон сжатия пережимов 13, 15, 17, 19, 21. С ростом номера "бочки" площадь ее сечения вначале уменьшается, а затем - увеличивается. Внутри каждой "бочки" давление ниже атмосферного, а в пережимах - выше. Скорость движения частиц газа (на чертежах направление скорости показано линиями со стрелками внутри струи 11) во всем пространстве "бочек" - выше скорости звука, а в пережиме - на оси 23 струи 11, ниже скорости звука, но в периферийной части 24 ее поперечного сечения скорость движения частиц газа выше скорости звука. Скорость частиц газа в центре струи изменяется скачкообразно [3]. Значение осевой составляющей скорости  $W_2$  в каждой зоне расширения отличается одно от другого, уменьшаясь с удалением от сечения 8 сопла Лавалья 6.

Радиальная составляющая  $W_r$  (фиг. 2) меняет свое направление в пределах одной "бочки", причем наибольшие изменения - в периферийной части 24 струи 11. Амплитуды скорости  $W_r$  в каждой "бочке" также различаются. Температура  $T_n$  в самой ближней к соплу 6 "бочке" 12 наибольшая, а в каждой последующей "бочке" 14, 16, и т.д. она ниже, чем в предыдущей. Таким образом, в каждой "бочке" недорасширенной струи 11 имеется соответствующий ей набор параметров: давления, температуры, осевой и радиальной скорости движения газов, величина которых имеет существенное значение для разрушения конкретной горной породы. Физические свойства различных типов горных пород разнообразны, а поэтому для их разрушения необходимо иметь как можно большие пределы изменения силовых воздействий одним соплом Лавала.

Для разрушения горной породы 25 на забое 26 скважины 27 газовую струю 11 направляют перпендикулярно поверхности разрушаемой горной породы 25 (фиг. 3). В зависимости оттого, на каком расстоянии от забоя 26 скважины 27 находится сечение 8 сопла Лавала, передача энергии горной породе 25 осуществляется какой-то одной "бочкой" 12, 14, 16 и т.д., имеющей свои значения температуры, давления, осевой и радиальной скорости.

Различным типам горных пород от различных "бочек" струи 11 передача тепла осуществляется с различной скоростью. В различных типах горных пород возникают также различные по интенсивности и частоте колебательные процессы под действием ударов сверхзвуковой струи. Ввиду амплитуды радиальных скоростей газа в каждой зоне расширения струи 11 создает в породе на забое скважины касательные напряжения, достаточные или недостаточные для ее разрушения скалыванием кусков 28 растресканной действием тепла и ударов струи, "шелушащейся" породы 25 с забоя 26 скважины 27 (фиг. 4).

Для того, чтобы обеспечить теплофизические условия разрушения нескольких типов пород, формируют недорасширенную струю с выявленной в эксперименте степенью нерасчетности  $n = 1,15-1,45$ . Это достигается выбором совокупности параметров: секундного расхода  $G$  газовой смеси, ее температуры  $T_1$ , и давления  $P_1$  в камере сгорания 1, степени нерасчетности  $n$  и диаметров  $D_{min}$ ,  $D_{max}$  сечений 7 и 8 сопла Лавала 6, вычисленных по формулам (1-5). Такая струя имеет более шести зон расширений, в каждой из которых давление, температура и скорость движения частиц газа отличаются от их параметров в других зонах расширения. В этой струе имеется набор параметров, обеспечивающих разрушение различных типов горных пород на каждом месторождении.

В самом ближней к соплу 6 зоне расширения 12 применяемой газовой струи 11 температура газа около  $1200^{\circ}\text{C}$ . При такой температуре некоторые типы пород плавятся. На поверхности забоя 26 образуется пленка плавленной породы, затрудняющая теплопередачу для ее разрушения наиболее эффективным способом - "шелушением". Для других пород при этой температуре условия передачи тепла породе могут быть наилучшими. Для плавящихся пород следует передавать породе тепло при другой, более низкой температуре. Это можно обеспечить, если установить сопло Лавала на таком расстоянии от забоя 26 скважины 27, что воздействующая на поверхностный слой породы 25 зона расширения газовой струи 11 будет передавать ей потребное для разрушения "шелушением" количество тепла с достаточной скоростью теплопередачи. Наличие в этой зоне расширений радиальных переменных скоростей движения частиц газа, изменяющих свое направление один раз в пределах зоны расширения на противоположное, при постоянной скорости подачи сопла Лавала аппарата на забой скважины создает в породе дополнительно переменные касательные напряжения с амплитудой, достаточной для ее растрескивания, скалывания отдельных кусочков 28 и выноса их от забоя в скважину (фиг. 4).

Для того, чтобы определить соответствие каждой из "бочек" 12, 14, 16 и т.д. одному из типов разрушаемых горных пород 25 при проходке скважины, выполняют экспериментальные работы в заготовленных для этой цели скважинах 27, пробуренных в различных типах горных пород до глубины 3,5-4,0 м. Для этого перед спуском работающего сопла Лавала в скважину замеряют расстояние  $H_{12}$ ,  $H_{14}$ ,  $H_{16}$  и т.д. от сечения 8 сопла Лавала 6 до середины (центра) 29, 30, 31, 32 и т.д. каждой "бочки" 12, 14, 16 и т.д. Затем опускают сопло Лавала в скважину 27 до его касания с забоем 26, а затем приподнимают на высоту, например  $H_{12}$ . Высоту подъема контролируют визуально, например, поворотом барабана подъемной лебедки (на чертежах не показаны). После такой установки работающего сопла Лавала под забоем 26 скважины 27 термобурильному аппарату задают минимально возможную скорость его опускания на забой скважины. Эту "скорость опускания" называют "скоростью подачи сопла Лавала на забой скважины". Скорость подачи контролируют по приборам, расположенным в кабине бурового агрегата (на чертежах не показаны) и визуально по движению каната подъемной лебедки (на чертеже не показан). Если процесс проходки осуществляется без остановки подачи сопла Лавала на забой, тогда увеличивают скорость подачи, например, на 10 %. Увеличение скорости подачи делают до тех пор, пока сопло Лавала не опустится на забой скважины. После этого устанавливают предыдущую скорость подачи и ведут проходку скважины на этой скорости. Затем уточняют окончательную скорость подачи, повторяя вышеперечисленные операции с меньшим шагом ее увеличения, например, на 3-5 %. Установив величину скорости подачи сопла Лавала на забой  $V_{12}$  для первой "бочки", те же самые операции повторяют для каждой последующей "бочки". Устанавливают сопло Лавала на высоту  $H_{14}$ , выбирают минимальную скорость подачи и ведут проходку. Если проходка не останавливается, то увеличивают скорость подачи на 10 % и т.д. Из всех установленных скоростей подачи  $V_{12}$ ,  $V_{14}$ ,  $V_{16}$  и т.д. (для каждой "бочки" 12, 14, 16 и т.д.) выбирают максимальную. Таким образом, для конкретного типа пород устанавливают номер зоны расширения, а, следовательно, высоту расположения сопла Лавала над забоем скважины и максимальную скорость его подачи на забой. Если же после установки сопла Лавала для воздействия на породу одной из "бочек" при минимальной скорости подачи проходка останавливается, т.е. сопло Лавала опускается на забой раньше, чем разрушается порода, то переходят к проходке скважины воздействием следующей "бочки". Установив максимальную скорость подачи для этой "бочки", повторяют эксперимент для всех последующих, а затем выбирают самую максимальную скорость подачи и номер "бочки", воздействием которой на забой она достигнута.

Все перечисленные операции повторяют бурением скважин в других типах пород. По результатам экспериментов составляют таблицу, в которой каждому типу пород соответствует номер "бочки" и максимальная скорость подачи сопла Лавала на забой скважины.

После выполнения экспериментальных работ переходят к выполнению проходки скважин. Для этого устанавливают тип породы, в которой будут вести проходку скважины, по таблице определяют номер "бочки" и скорость подачи сопла Лавала на забой. Запускают в работу сопло Лавала и, регулируя секундным расходом топлива и сжатого воздуха, формируют газовую струю со степенью нерасчетности в пределах  $n = 1,15-1,45$ , что

определяется по количеству "бочек" в струю в пределах от 6 до 10. Затем линейкой измеряют расстояние от сопла Лавала до середины требуемой "бочки" и опускают его на забой скважины, а затем поднимают на упомянутое выше расстояние. Устанавливают скорость подачи сопла Лавала на забой, соответствующую требуемой для данной горной породы бочки, и ведут проходку скважины на этой скорости.

Учитывая неоднородность горных пород как по теплофизическим свойствам, так и по минералогическому составу, при проходке скважины следует всегда проверять возможность увеличения скорости подачи сопла Лавала на забой до максимального значения, путем увеличения ее на 1-10 %. Если же на установленной скорости проходка скважины останавливается, то требуется уменьшить скорость на 1-10 % и выйти на максимально-возможную скорость проходки скважины в конкретной горной породе. При возможности начать процесс проходки на этой "бочке", следует предположить, что тип породы изменился на меньшей глубине, чем это установлено геологическим разрезом, и перейти на режим проходки скважины на параметрах, соответствующих типу пород, указанному в геологическом разрезе на большей глубине. Если геологическим разрезом изменение пород не предполагается, то следует проверить процесс проходки на всех других "бочках" и соответствующих им скоростях подачи сопла Лавала на забой скважины.

Если в результате уточнения скорости подачи получают максимальную скорость, соответствующую другой "бочке", то на забой скважины переводят воздействие другой "бочки" струи 11 и снова подбирают максимальную скорость подачи сопла Лавала на забой скважины.

Если же в процессе проходки скважин газовая струя 11 войдет в соприкосновение с забоем не серединой 32 "бочки" 14, а ее зоной сжатия 15, то, как следует из чертежа (см. фиг. 5), в этом случае часть энергии струи будет израсходована на изменение направления движения частиц газа, но Скалывающее действие струя будет выполнять. Это свидетельствует о том, что в процессе проходки всегда необходимо уточнять скорость подачи сопла Лавала на забой скважины для достижения максимальной скорости ее проходки. Для уменьшения или увеличения диаметра скважины используют сопло Лавала, соответственно, меньшими или большими диаметрами  $D_{min}$  и  $D_{max}$  сечений 7 и 8, рассчитанных по формулам (1-5) при меньшем или большем секундном расходе  $G$  топливоздушной смеси.

В небольших пределах увеличить диаметр скважины, например, от 170 до 210 мм можно уменьшением скорости подачи сопла Лавала на забой скважины, но только лишь в некоторых типах пород.

Применять струю с меньшей степенью нерасчетности ( $n < 1,15$ ) не выгодно, т.к. у нее много "бочек", слабо отличающихся одна от другой, и у всех "бочек" радиальная составляющая скорости имеет незначительную амплитуду, а, следовательно, создает более слабое скалывающее действие.

Применять струю с большей степенью нерасчетности ( $n > 1,45$ ) также нецелесообразно т.к. в ней из-за быстрого падения скорости от "бочки" к "бочке" получается меньший набор параметров для разрушения различных типов горных пород, да и "бочек" меньше. Кроме того, у такой струи ее параметры после спуска сопла Лавала в скважину сильно изменяются. Струя приобретает в скважине другие свойства, которые в большей степени зависят от неоднородности горных пород и изменения диаметра скважин. Поэтому для этой струи значительно труднее подобрать соответствие "бочек" каждому типу горной породы и определить величину постоянной скорости подачи. Это вызывает частые остановки при проходке скважины и требует более сложного управления буровым агрегатом.

Выше описан термический способ проходки скважины, начиная с некоторой глубины. До этой глубины скважину обычно проходят другим способом, например, шарошечным. Можно начинать проходку скважины предложенным способом и с нулевой глубины. Но тогда, например, при диаметре скважины 210 мм, на ее проходку до глубины 3,5-4,0 м придется затратить намного больше топлива и вести проходку на более низкой скорости подачи, т.е. на неэффективном, нестационарном режиме. Поскольку это неэффективно, то сначала целесообразно пройти механическим бурением скважины-заготовки глубиной 3,5-4,0 м, а затем каждую скважину продолжают проходить термическим способом до проектной глубины, например, до 16 и более метров, на установленных в экспериментах стационарных режимах проходки.

Пример осуществления способа.

Сначала создают устройство для формирования недорасширенной струи степенью нерасчетности, например,  $n=1,25$ . Для этого по формулам (1-5) рассчитывают диаметры  $D_{min}$  и  $D_{max}$  сечений 7 и 8 сопла Лавала 6. Берут исходные данные: давление в атмосфере  $P_H = 0,1$  МПа, давление газов в камере сгорания  $P_1 = 0,6$  МПа и их температуру  $T_1 = 1500$  К, секунднй расход топливо-воздушной смеси  $G = 0,6$  кг/с. Для этих условий  $k = 1,33$ ,  $\varphi_m(k = 1,33) = 2,09$ ,  $R = 293$  Дж/кг·К, а давление в сечении 8  $P_2 = P_H \cdot n = 0,1 \times 1,25 = 0,125$  МПа. Подставляя исходные данные в (1), вычисляют диаметр  $D_{min}$  наименьшего (критического) сечения 7 сопла Лавала 6:

$$D_{min}^2 = \frac{40 \cdot 0,6 \cdot \sqrt{0,1 \cdot 293 \cdot 1500}}{3,14 \cdot 2,09 \cdot 6 \cdot 10^5} =$$

$$= 12,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$D_{min} = 35,6 \text{ мм}$$

По формулам (2) и (4) вычисляют температуру  $T_2$  и скорость газов  $W_2$  в выходном сечении 8 сопла Лавала 6:

$$T_2 = 1500 \left( \frac{0,125}{0,6} \right)^{0,33/1,33} = 1020 \text{ К,}$$

$$W_2 = \sqrt{0,2 \cdot 9,8 \cdot \frac{1,33}{0,33} \cdot 293 \cdot 1500 \left( 1 - \left( \frac{0,125}{0,6} \right)^{0,33/1,33} \right)}$$

По формуле (3) вычисляют диаметр  $D_{max}$  в выходном сечении 8 сопла Лавала 6:

$$D_{\max}^2 = \frac{4 \cdot 0,6 \cdot 293 \cdot 1020}{3,14 \cdot 1010 \cdot 1,25 \cdot 10^5} =$$

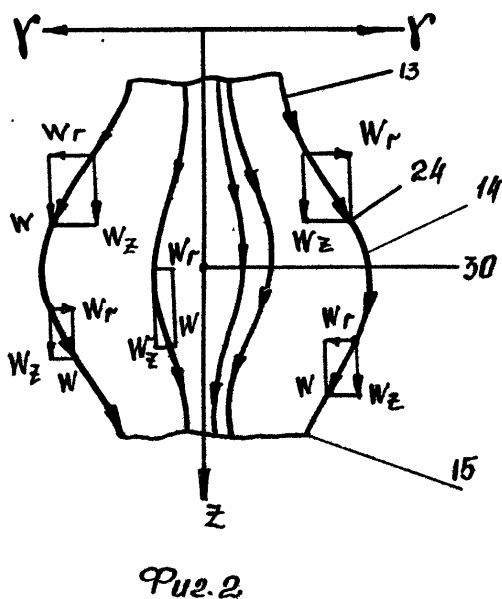
$$= 17,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

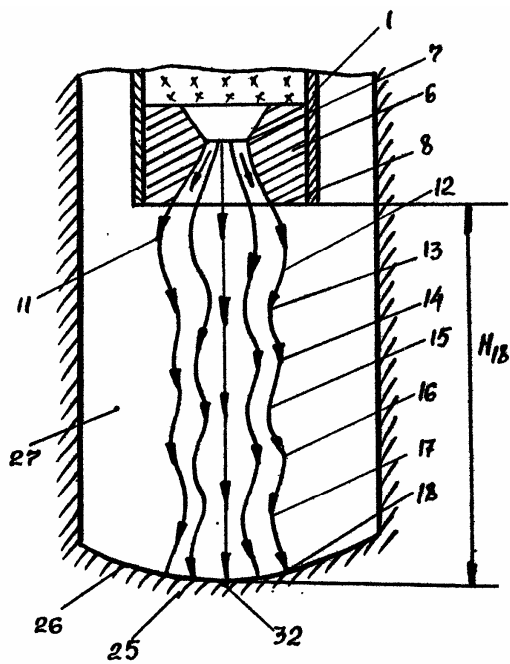
$$D_{\max} = 42,1 \text{ мм}^2$$

При диаметрах сопла Лавалья в сечении 7, равном 35,6 мм, и в сечении 8, равном 42,1 мм, струя будет недорасширенной со степенью нерасчетности 1,25. Применим ее для проходки скважины диаметром 180-210 мм в магнетитовых кварцитах. Запуск сопла Лавалья в работу осуществляется следующим образом. По каналам 2 и 3 в камеру сгорания 1 подают топливо и сжатый воздух, затем воспламенителем 5 зажигают образовавшуюся смесь 9, которая превращается в газ и устремляется в сопло Лавалья 6. из которого выходит в виде недорасширенной "бочкообразной" струи 11 со степенью нерасчетности 1,25. Затем подсчитывают количество "бочек" в струе, например, восемь и замеряют расстояния  $H_{12} = 0,05 \text{ м}$ ,  $H_{14} = 0,10 \text{ м}$ ,  $H_{16} = 0,15 \text{ м}$ ,  $H_{18} = 0,2 \text{ м}$  и т.д. от выходного сечения 8 сопла Лавалья 6 до центра 29, 30, 31 и т.д. каждой "бочки". После этого опускают сопло Лавалья в заготовленную скважину 27 глубиной 3,5-4,0 м до его касания с забоем 26 скважины, а затем приподнимают сопло Лавалья на высоту  $H_{18} = 0,02 \text{ м}$ . Устанавливают наименьшую скорость подачи сопла Лавалья на забой, равную 8 м/час, и ведут проходку скважины на этой окружности. Если сопло Лавалья не натывается на забой, то увеличивают скорость подачи на 10 %, т.е. на 0,8 м/час, и ведут проходку на новой скорости, равной 8,8 м/час, и т.д. до остановки сопла Лавалья на забое скважины, например, при 10,4 м/час. После остановки проходки скорость подачи подбирают в пределах между двумя последними опытами. В нашем случае проходка не останавливается при максимальной скорости 10 м/час. Затем повторяют эксперименты при воздействии на забой 3-й "бочкой" газовой струи, для которой находят максимальную скорость подачи 7 м/час. Аналогично, для 5-й "бочки" – 8,5 м/час. Из всех этих опытов выбирают самую максимальную скорость, равную 10 м/час, которая достигается при воздействии на забой 4-й "бочкой" газовой струи 11 при расстоянии  $H_{18} = 0,2 \text{ м}$ . Если для какой-нибудь "бочки" скорость подачи не устанавливается, то переходят на воздействие другой, соседней с ней, "бочкой". Затем такие же эксперименты повторяют в других скважинах-заготовках, пробуренных в различных типах горных пород. Например, для сланцев определяют максимальную скорость подачи 5 м/час при воздействии на забой скважины 2-й "бочкой" газовой струи ( $H_{14} = 0,1 \text{ м}$ ).

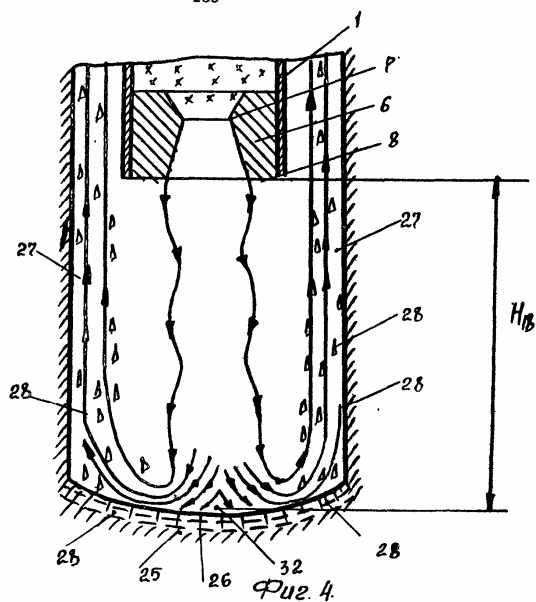
В результате, этих экспериментов для каждой горной породы получают номер "бочки", соприкасающейся с горной породой на забое скважины, и максимальную скорость подачи сопла Лавалья на забой, на котором ведут проходку скважины в конкретной горной породе. Составляют соответствующую таблицу режимов проходки. Проходку скважины осуществляют следующим образом. Устанавливают тип горной породы, например, магнетитовый кварцит, в который пробурена скважина-заготовка 27 глубиной 3,5-4,0 м. Затем по геологическому разрезу устанавливают возможные изменения типов пород с изменением глубины Скважины. Пусть в нашей скважине до глубины 12 м залегают магнетитовые кварциты, а от 12 м и 20 м - сланцы. Для каждой породы по таблице режимов проходки выбирают номер "бочки" струи и скорость подачи сопла Лавалья на забой скважины. Для магнетитового кварцита на глубинах от 4 до 12 м будет установлено расстояние  $H_{18} = 0,2 \text{ м}$  (4-я "бочка") и скорость подачи соплового аппарата на забой скважины 10 м/час. На другом интервале глубин от 12 до 20 м в сланцах будет установлено расстояние  $H_{14} = 0,1 \text{ м}$  (2-я "бочка") и скорость подачи 5 м/час. После этого переходят непосредственно к проходке скважин. Для этого зажигают сопло Лавалья и регулировкой подачи топлива и сжатого воздуха достигают степени нерасчетности струи, примерно 1,25, подсчитывая количество "бочек" в струе, которых, как было указано выше, для нашего примера должно быть восемь. Из-за различной высоты расположения устья скважины и изменений атмосферного давления степень нерасчетности струи может измениться. Но экспериментами установлено, что выявленные закономерности соблюдаются при степени нерасчетности газовой струи в пределах 1,15-1,45. Это соответствует значительно большим изменениям давления, чем за счет высоты и его изменений во времени: линейкой замеряют расстояние  $H_{14} = 0,1 \text{ м}$  и  $H_{18} = 0,2 \text{ м}$  от выходного сечения 8 сопла Лавалья 6 до центров 30 и 32 "бочек" 14 и 18 (2-я и 4-я "бочки") газовой струи 11. Опускают сопло Лавалья на забой скважины и приподнимают его на высоту 0,2 м. Устанавливают скорость подачи 10 м/час и ведут проходку на этой скорости. Если сопло Лавалья не натывается на забой скважины, то увеличивают скорость подачи на 0,5 м/час и ведут проходку на новой скорости. Если сопло Лавалья не приходит в соприкосновение с забоем, что еще увеличивают скорость подачи на 0,5 м/час и ведут проходку со скоростью подачи 11 м/час. При соприкосновении сопла Лавалья с забоем поднимают его на высоту 0,2 м и возвращаются на скорость подачи 10,75 м/час и ведут проходку на этой скорости. Если и на этой скорости сопло Лавалья входит в соприкосновение с забоем, то устанавливают скорость подачи 10,5 м/час, на которой проходка осуществлялась без соприкосновения сопла Лавалья с забоем. В этом случае максимальная скорость проходки скважины по конкретным магнетитовым кварцитам равна 10,5 м/час, хотя по экспериментным работам была определена скорость 10 м/час. На скорости 10,5 м/час проходят скважину предположительно до глубины 12 м, но не останавливают проходку, т.к. контакт магнетитовых кварцитов и сланцев точно не известен. Когда сопло Лавалья войдет в сланцы, проходка остановится, т.к. скорость проходки в них более низкая. После остановки сопла Лавалья на забое скважины его приподнимают на высоту  $H_{14} = 0,1 \text{ м}$  (высота 2-й "бочки"), устанавливают скорость подачи 5 м/час и ведут проходку скважины в сланцах на этой скорости. В процессе проходки проверяют возможность увеличения скорости подачи, увеличивая ее каждый раз на 0,5 м/час до тех пор, пока проходка не остановится. (Если же при скорости 5 м/час проходка остановится, то, наоборот, уменьшают скорость подачи каждый раз на 0,5 м/час до тех пор, пока сопло Лавалья перестанет натываться на забой скважины). На уточненной скорости, например, 5,5 м/час проходят, например, 2 м скважины, а затем увеличивают скорость подачи на 0,5 м. Если скорость проходки при этом увеличивается на 1-1,5 м, то это означает, что произошла смена пород. Следует перейти на воздействие на забой 3-й "бочки", установив соответствующее расстояние  $H_{16} = 0,15 \text{ м}$  и скорость подачи, например, 8 м/час, и ведут проходку на этой скорости, уточняя ее до выхода на максимальную скорость. Если же смены породы нет, то скорость подачи не увеличивается, и проходку скважины ведут на прежней скорости еще на глубину 2 м и т.д.

Преимуществом предложенного способа является то, что он позволяет визуально, быстро и однозначно установить режим проходки скважины с примерно максимальной скоростью для каждой конкретной горной породы. Это значительно сокращает затраты времени на уточнение максимальной скорости подачи сопла Лаваля на забой скважины и. как установлено экспериментами, увеличивает скорость ее проходки на 12% в сравнении со способом, взятым в качестве прототипа.

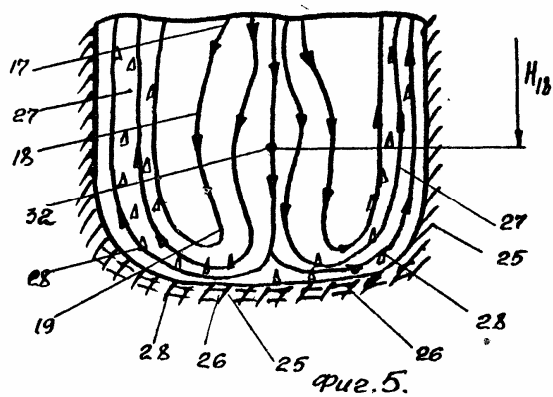




Фиг. 3.



Фиг. 4.



Фиг. 5.