

Е. П. ПОЛЕВИЧЕК

К ВОПРОСУ ВЫБОРА ГОРЮЧИХ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ КАМЕР СГОРАНИЯ РАКЕТНОГО ТИПА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Как известно, при воздействии на какое-либо тело высокотемпературной высокоскоростной газовой струи, вытекающей из сопла камеры сгорания ракетного типа, благодаря сочетанию высокой температуры и большой скорости, происходит чрезвычайно интенсивный местный разогрев. Величины тепловых потоков от газов к поверхности тела в этом случае могут в десятки раз превосходить величины тепловых потоков, имеющих место в обычных, даже самых мощных, нагревательных устройствах.

Высокоинтенсивный нагрев тел с помощью газовой струи обычно сопровождается явлениями, используя которые, можно создать целый ряд высокопроизводительных технологических процессов.

В частности, интенсивный нагрев тел с низкой теплопроводностью и высокой твердостью приводит к возникновению очень больших термических напряжений, под действием которых происходит быстрое разрушение верхнего слоя. На этом явлении основан процесс термического бурения скальных пород.

Рабочим инструментом для термического бурения является термобур, принципиальная схема которого представлена на рис. 1. Термобур представляет собой длинную трубу 1, в нижней части которой размещена специальная камера сгорания ракетного типа, состоящая из головки 2, в которой размещены форсунки для горючего 3 и окислителя 4, собственно камеры 5 и выходного сопла 6. Горючее и окислитель подводятся к головке камеры по трубопроводам 7 и 8, проходящим внутри трубы 1. В камере сгорания горючее смешивается с окислителем и сгорает.

Образовавшиеся продукты сгорания, вытекающие с большой скоростью из камеры сгорания через сопло, направляются на поверхность породы и производят ее разрушение. Кусочки разрушенной породы сдуваются газовой струей, обнажаются новые слои, и, таким образом, процесс разрушения в зоне действия струи идет непрерывно.

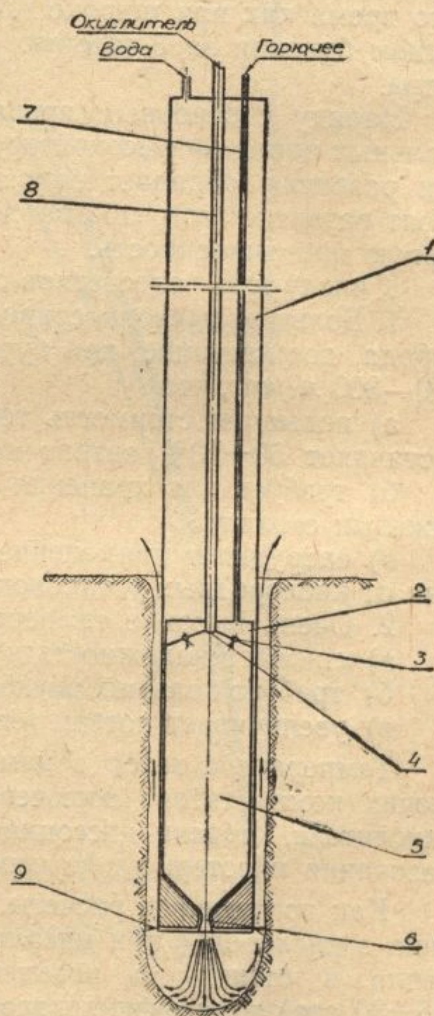


Рис. 1. Принципиальная схема термобура.

Камера сгорания и сопло имеют водяное охлаждение. Вода, подаваемая в термобур под давлением, проходит по внутренней полости трубы 1 к охлаждающей рубашке камеры сгорания и сопла, а затем выбрасывается в скважину через ряд отверстий 10 в нижней части кожуха камеры.

В скважине, благодаря соприкосновению с раскаленными газами, вода полностью или частично испаряется. Образовавшиеся пары вместе с продуктами сгорания вырываются из скважины с большой скоростью по кольцевому зазору между стенками скважины и термобуром, вынося с собой кусочки разрушенной породы.

В качестве горючих компонентов при термическом бурении в настоящее время применяются, как правило, керосин (горючее) и газообразный кислород (окислитель).

Работы, проводимые в Советском Союзе [1, 2] и США [3] показывают, что термическое бурение скальных пород позволяет получить в 10—15 раз более высокие скорости бурения, чем при обычно применяемых механических способах.

Так например, при термическом бурении монолитных блоков гранита в лабораторных условиях были получены скорости бурения до $10 \div 12$ м/час, в то время как при широко применяемом в настоящее время ударно-канатном бурении за 8-часовую смену удается пробурить всего лишь 2—3 метра.

Наряду с основным преимуществом термического метода бурения скальных пород — высокой производительностью, он на современной стадии развития обладает рядом существенных недостатков, которые тормозят развитие этого прогрессивного метода, затрудняют его внедрение в горную промышленность.

К числу этих недостатков следует прежде всего отнести:

1. Большие расходы сравнительно дорогостоящего газообразного кислорода, достигающие, при бурении скважин диаметром порядка 200 мм, $250—300$ м³/час, что

а) повышает стоимость термического бурения (стоимость кислорода составляет $50 \div 70\%$ затрат на бурение),

б) требует для хранения и транспортировки кислорода больших и тяжелых емкостей,

в) затрудняет применение термического бурения в районах, удаленных от кислородных установок.

2. Очень высокие температуры газов в камере сгорания, что

а) снижает надежность и срок службы камеры сгорания термобура,

б) требует больших расходов охлаждающей воды,

в) увеличивает потери тепла на диссоциацию.

Температура газов в камере сгорания зависит от калорийности горючих компонентов (горючего и окислителя), коэффициента избытка окислителя, степени диссоциации продуктов сгорания, качества смесеобразования и потерь тепла через стенки.

Как показывают расчеты, теоретическая температура сгорания керосина в кислороде (при идеальном смесеобразовании и отсутствии потерь тепла в стенки) в практически приемлемых диапазонах давлений ($5 \div 30$ ата) и коэффициентов избытка окислителя ($0,7 \div 1$) лежит в пределах $3250 \div 3550^\circ$ абс.

Опыт показывает, что для термического бурения не всегда необходимы такие высокие температуры в камере сгорания. Достаточно интенсивное разрушение некоторых крепких горных пород, и в частности гранитов, происходит при значительно более низких температурах. Так например, в 1955 году при бурении гранита в лабораторных условиях нами бы-

ли получены скорости бурения $8 \div 10$ м/час при работе на 75-процентном этиловом спирте и кислороде. Температура сгорания 75-процентного этилового спирта в кислороде на $600 \div 700^\circ$ ниже, чем температура сгорания керосина.

Практически снижение температуры в камере сгорания при значительном уменьшении расхода кислорода может быть осуществлено, по нашему мнению, путем замены части кислорода сжатым атмосферным воздухом, подаваемым в камеру сгорания от компрессора.

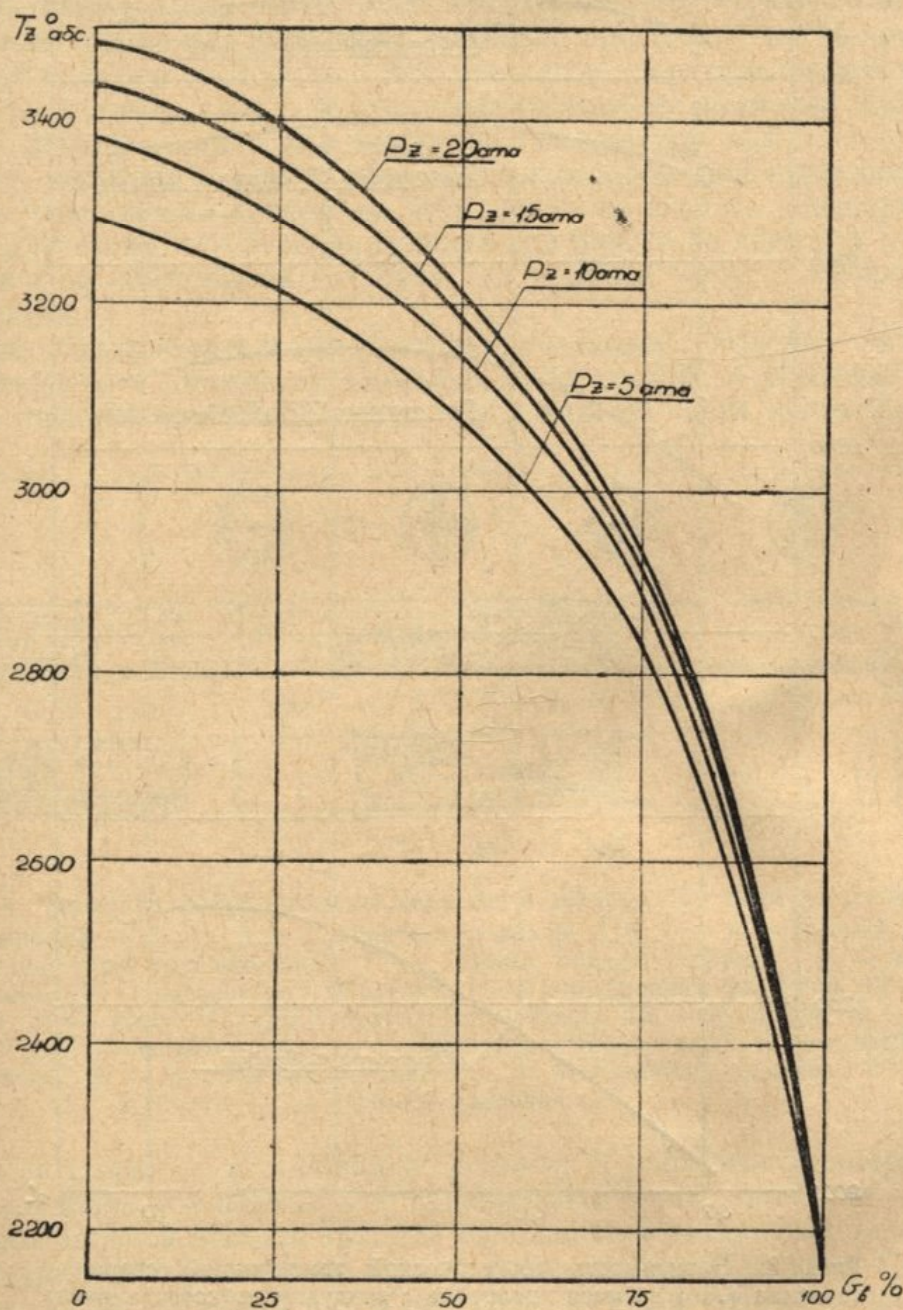


Рис. 2. Зависимость теоретической температуры сгорания керосина (T_z) в смеси кислорода с воздухом от процентного содержания воздуха (G_v %) в окислителе при различных давлениях P_z и коэффициенте избытка окислителя $\alpha = 0,8$.

С целью установления зависимости теоретической температуры сгорания керосина в смеси кислорода с воздухом от содержания воздуха в окислителе нами была проведена серия расчетов для различных значений

давления P_z и коэффициента избытка окислителя α . Расчеты температуры проводились по методике Я. Б. Зельдовича и А. И. Полярного [4] с учетом диссоциации продуктов сгорания. Результаты расчетов приведены на рис. 2 и 3.

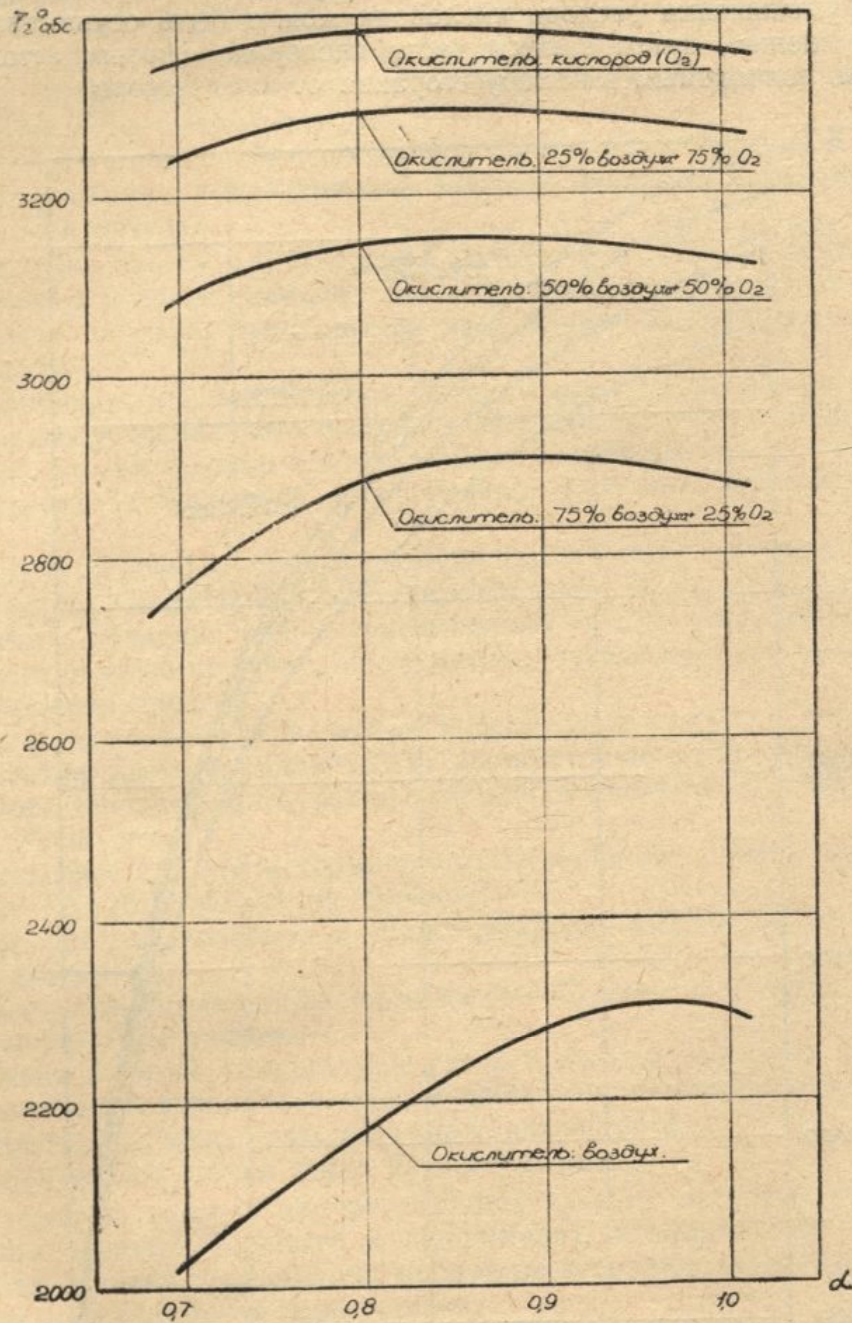


Рис. 3. Зависимость теоретической температуры сгорания керосина (T_z) в смеси кислорода с воздухом от коэффициента избытка окислителя (α) при давлении $P_z = 10$ атм и различных составах окислителя.

Как видно из этих рисунков, зависимость температуры от содержания воздуха в окислителе имеет резко выраженный нелинейный характер. При относительно малых содержаниях воздуха в окислителе снижение температуры с увеличением содержания воздуха менее значительно, чем при больших. Так, при давлении в камере сгорания $P_z = 10$ атм и коэффициенте избытка окислителя $\alpha = 0,8$ добавка первых 25% воздуха вызывает

снижение температуры всего лишь на 90° . Увеличение содержания воздуха от 25 до 50% снижает температуру на 145° , от 50 до 75% — на 255° , а от 75 до 100% — на 720° .

Замена 50% кислорода воздухом снижает температуру сгорания при всех давлениях примерно на 20% по отношению к снижению температуры при полной замене кислорода воздухом. Такой характер изменения температуры с увеличением содержания воздуха в окислителе объясняется уменьшением теплотворности топлива и снижением степени диссоциации.

Как указывалось выше, опыт показывает, что термическое бурение с довольно высокими скоростями возможно при работе на 75-процентном этиловом спирте и кислороде. Теоретическая температура сгорания 75-процентного этилового спирта в кислороде составляет примерно 2850° абс.

Из графиков видно, что такую же температуру можно получить при сгорании керосина в смеси воздуха с кислородом при примерно 25-процентном содержании кислорода. Это позволило сделать предварительный вывод о возможности бурения гранита при работе на керосине и воздухе, обогащенном кислородом, начиная, по крайней мере, с 25-процентного обогащения.

Для экспериментальной проверки сделанного вывода нами был спроектирован и изготовлен термобур, работающий на керосине и воздухе, обогащенном кислородом (рис. 4). В нижней части трубы 2 размеще-

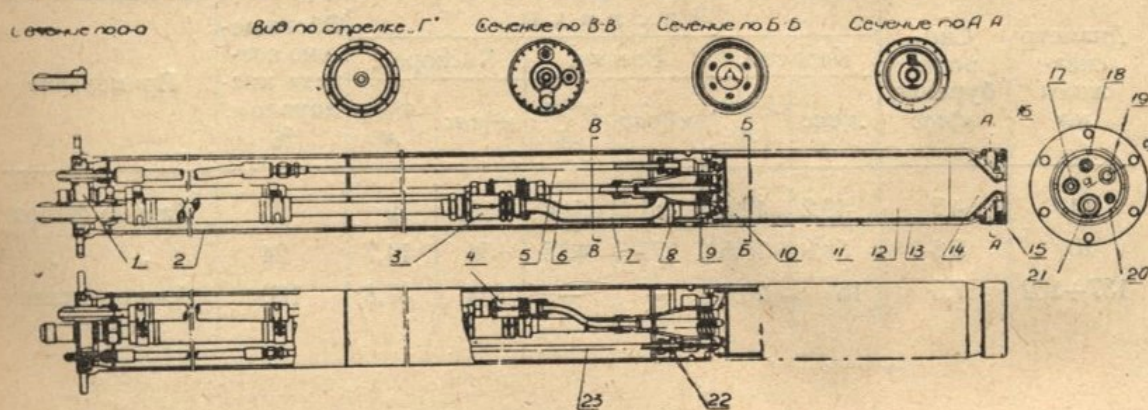


Рис. 4. Термобур, работающий на керосине и воздухе, обогащенном кислородом
1 — крышка, 2 — труба, 3, 4 — обратные клапаны, 5, 6, 7 — керосиновый, кислородный и воздушный трубопроводы, 8 — головка камеры сгорания, 9 — воздушный завихритель, 10 — керосиновая форсунка, 11 — кислородная форсунка, 12 — камера сгорания, 13 — кожух камеры сгорания, 14 — сопло, 15 — вкладыш, 16 — сальник, 17, 18, 19 и 21 — входные штуцера, соответственно кислородный, керосиновый, водяной и воздушный, 20 — штуцер замера давления, 22 — приемник давления, 23 — трубка замера давления.

на камера сгорания, состоящая из головки 8, собственно камеры сгорания цилиндрической формы 12 с приваренным к ней соплом 14 и кожуха 13. В центральной полости головки размещается воздушный завихритель 9, в полый стержень которого ввернута кислородная форсунка 11. Вокруг завихрителя расположены шесть центробежных керосиновых форсунок 10.

Керосин, кислород и воздух подводятся к термобуру по гибким шлангам, присоединяемым к входным штуцерам 18, 17 и 21, вваренным в крышку 1, а затем по внутренним магистралям 5, 6 и 7 — к головке камеры сгорания. Наличие воздушного завихрителя обеспечивает хорошее смесеобразование и высокую полноту сгорания.

Для замера давления в камере сгорания в головке имеется приемник давления 22, который соединен трубопроводом 23 с выводным штуцером 20. Для удобства монтажа на всех внутренних магистралях термобура в верхней части поставлены гибкие шланги.

В воздушной и кислородной магистралях вблизи головки камеры установлены обратные клапаны 3 и 4, предотвращающие прорыв газов в магистраль при резком повышении давления в камере в момент запуска.

Охлаждающая вода подводится через штуцер 19 непосредственно во внутреннюю полость трубы 2, откуда она через ряд сквозных отверстий в головке поступает на охлаждение камеры сгорания и сопла.

С целью компенсации температурных удлинений нижнее соединение камеры сгорания и кожуха выполнено подвижным. Уплотнение в подвижном соединении достигается с помощью сальника 16.

Испытания термобура в лабораторных условиях показали, что процесс сгорания протекает вполне устойчиво при любых соотношениях расходов воздуха и кислорода. При 25 — 30-процентном обогащении воздуха кислородом получено надежное бурение с приемлемыми для практики скоростями.

Ниже приведены экспериментальные данные по термическому бурению гранита в лабораторных условиях при работе термобура на керосине и воздухе, обогащенном кислородом. Здесь же для сравнения приведены американские данные [3].

Данные термического бурения

Диаметр скважины мм	Скорость бурения м/час	Расходы						Обогащение воздуха кислородом, %	Примечание
		Керосин,		Воздух,		Кислород,			
		л/час	л/пог. м	м ³ /час	м ³ /п. м	м ³ /час	м ³ /п. м		
140	4,7	59,2	12,6	161	34,0	56,5	12	26	Данные автора
200	3,8	58,8	15,5	177	46,5	56	14,7	24	" "
137 ÷ 162	7,5	151	20,0	—	—	283	37,8	100	Американские данные

ВЫВОДЫ

1. В настоящее время при термическом бурении крепких горных пород в качестве окислителя применяется газообразный кислород. С этим связаны два существенных недостатка термического бурения:

- а) большие расходы кислорода,
- б) высокие температуры в камере сгорания термобура.

2. Проведенные исследования свидетельствуют о возможности применения в качестве окислителя смеси воздуха с кислородом при сравнительно небольших содержаниях кислорода. Применение в качестве окислителя смеси воздуха с кислородом позволяет значительно сократить расходы сравнительно дорогостоящего газообразного кислорода и за счет этого снизить стоимость термического бурения, а также повысить надежность работы и срок службы камеры сгорания термобура.

3. Созданный термобур, работающий на керосине и смеси воздуха с кислородом, позволяет в широком диапазоне регулировать температуру в камере сгорания путем изменения содержания кислорода в окислителе.

4. Дальнейшие работы по исследованию термического бурения при работе на воздухе, обогащенном кислородом, позволяют установить оптимальные составы окислителя для бурения различных горных пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. П. Васильев. Обоснование эффективности термического способа бурения скважин с применением реактивных горелок. «Горный журнал», 1955, № 8.
 2. А. В. Бричкин и др. Механизм разрушения горной породы под действием высоких температур и технические основы термического бурения. Вестник АН Казахской ССР, 1955, № 3.
 3. Contemporary Digest. Jet piercing in granite quarry, Mine and Quarry Engineering, 1953, August, p. p. 293—294.
 4. Я. Б. Зельдович и А. И. Полярный. Расчет тепловых процессов при высокой температуре. Изд. БНТ, 1947.
-