

УДК 622.23.05

**ЖАРУУЧУ ТҮЗМӨКТҮН КЕРИЛҮҮЧҮ
ЖААКТАРЫНЫН ЖУМУШЧУ БЕТИНИН
КАЛЫБЫНЫН ЖАРЫЛУУ ТЕГИЗДИГИНДЕГИ
ЧЫҢАЛУУЛАРГА ТААСИРИ (Бөлүк 1)**

**ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ
РАЗДВИЖНЫХ ЩЕК РАСКАЛЫВАЮЩЕГО
УСТРОЙСТВА НА НАПРЯЖЕНИЯ В ПЛОСКОСТИ
РАСКОЛА КАМНЯ (Часть 1)**

**INFLUENCE OF THE SHAPE OF THE WORKING
SURFACE OF THE SLIDING JAWS OF THE CLIVING
DEVICE ON THE STRESS IN THE PLANE OF THE
STONE SPILL (Part 1)**

Ж. Усубалиев, К. Т. Эликбаев, Т. О. Райымбабаев

J. Usubaliev, K. T. Elikbaev, T. O. Raiymbambaev

Бул иште гидрошынаалык түзүлүштүн таи жаруучу башчасы келтирилген, ал учурдагы түзүлүштөрдөн табигый таи сыяктуу катуу морт материалдын жаракасынын баиталышында ажыроочу тегиздикте чыңалуусунун топтолушун түзүүгө арналган эки кошумча керилме жаактары менен айырмаланат. Ушул макаланын биринчи бөлүгүндө төрт жылма жаагы бар гидрошынаалык түзүлүштүн жаруучу башчадагы кошумча керилме жаактарынын жумушчу бетинин калыбынын табигый таитын жарылышынын тегиздигинде пайда болгон чыңалууга таасиринин эки учуру каралат: керилме жаактардын жумушчу беттеринин калыбы тегерек сектор түрүндө жана курч кыры бар призма түрүндө жасалганда. Иштин максаты катуу материалдын жарылууга жеткирген эквиваленттүү чыңалуулардын чоңдугун аныктоо, ал жаруучу түзүлүштөрдү долбоорло эсептөөлөрү үчүн керек.

В работе представлен раскалывающий орган гидроклинового устройства, отличающийся от существующих устройств наличием двух дополнительных подвижных щек, предназначенных для создания концентраций напряжений в плоскости раскола, в начале образования трещины в твердом хрупком материале, таких как природный камень. Целью работы является определение величины возникающих эквивалентных напряжений раскола твердого материала для проектировочных расчетов раскалывающих устройств. Рассматривается влияние формы рабочей поверхности дополнительных подвижных щек

гидроклинового устройства с четырьмя раздвижными щеками на величину возникающего напряжения в плоскости раскола природного камня. В первой части статьи рассмотрено два варианта формы рабочей поверхности дополнительных раздвижных щек: в виде сектора окружности и в виде призмы с острой кромкой.

The paper presents a splitting body of a hydrowedge device, which differs from existing devices by the presence of two additional sliding cheeks designed to create stress concentrations in the split plane at the beginning of a crack in a hard brittle material, such as natural stone. In the first part of this article, two cases of the influence of the shape of the working surface of additional sliding cheeks of a splitting device of a hydrowedge device with four sliding cheeks on the stresses that arise in the plane of splitting natural stone are considered, when the shape of the working surfaces of the sliding jaws is made in the form of a sector of a circle and in the form of a prism with a sharp edge. The aim of the work is to determine the magnitude of the emerging equivalent stresses of a split of a solid material, for design calculations of splitting devices.

Түйүн сөздөр: жаруучу түзүлүш, сүрүлүү коэффициенти, камтылган бөлүк, керилме жаак, тешик, элемент, кысуу чыңалуусу, чоюу (жаруу) чыңалуусу, контакттык (тийимдик) чыңалуу, бөлүштүрүлгөн жүк, бөлүү (жаруу) күчү.

Ключевые слова: раскалывающее устройство, коэффициент трения, закладная часть, раздвижная щека, шпур, элемент, напряжение сжатия, напряжение растяжения (раскола), контактное напряжение, распределенная нагрузка, усилие раскола.

Keywords: splitting device, coefficient of friction, embedded part, sliding jaw, hole, element, compression stress, tensile (split) stress, contact stress, distributed load, split force.

Работа посвящена определению влияния формы рабочей поверхности раздвижных щек оголовника гидравлического клина на напряжение в плоскости раскола камня при отделении блока камня от массива гидроклиновым устройством.

Статья состоит из двух частей. В первой части рассмотрены дополнительные щеки, имеющие форму рабочих поверхностей в виде сектора окружности и в виде призмы с острой кромкой.

Известно, что по технологии добычи блока камня [1, 2] для отделения его от массива применяется комплект гидравлических клиньев, располагаемых по намеченной линии раскола. Однако также известно, что тело камня зачастую имеет неоднородную структуру и монолитность из-за наличия различных включений, трещиноватости,

а также произвольную ориентацию слоистости и кристаллических решеток [3]. Для получения правильной прямоугольной формы блока камня разработчиками были предложены различные конструкции раскалывающих устройств для получения направленного раскола, изложенные в работах [2, 4, 6 - 9].

В конструкциях оголовника гидравлических клиньев, применяемых на практике, традиционно используются две раздвижные щеки, имеющие округлую рабочую поверхность (рисунок 1), которые при расколе камня ориентируют перпендикулярно плоскости раскалывания.

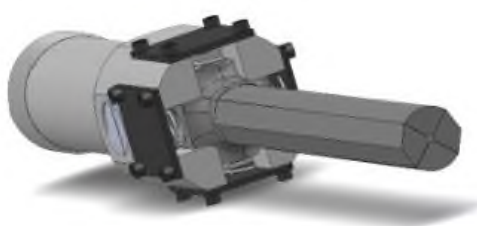


Рисунок 1 – Раздвижная щека

Рассматривается влияние различных форм рабочих поверхностей раздвижных щек

раскалывающего органа гидравлического клинового устройства на напряжения в теле камня в процессе раскола.

Для получения блоков камня правильной прямоугольной формы авторами предложено в конструкцию оголовника ввести две дополнительные щеки, расположенные взаимно перпендикулярно основным щекам (рисунок 2), которые при движении воздействуют на участок начала образования трещины, создавая напряженное состояние на этом участке.



а



б

Рисунок 2 – Оголовник клинового устройства: общий вид расклинивающей головки (а); раздвижные щеки (б)

Целью данной работы является определение и сравнение напряжений, возникающих в плоскости раскола при различных формах рабочей части дополнительных раздвижных щек раскалывающего устройства при расколе гидравлическим клиновым устройством.

Для наглядного представления образования поперечных распирающих F_x и F_y от действия осевой силы F_o на рисунке 4 приведена расчетная схема раскалывающего устройства предлагаемой конструкции, оснащенной двумя основными и двумя дополнительными раздвижными щеками, при этом угол заострения клина в плоскостях x и y равны углу α .

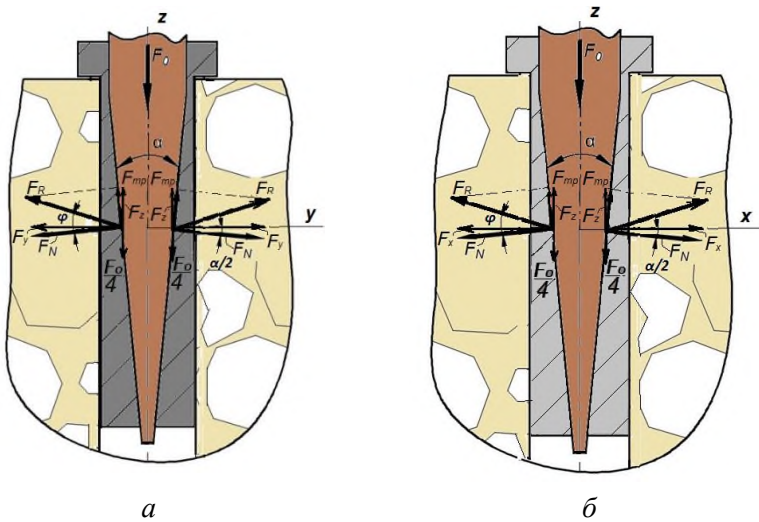


Рисунок 4 – Разложение осевой силы по плоскостям в плоскости $y - z$ (а), в плоскости $x - z$ (б)

При приложении осевой силы F_o клину одновременно на всех его четырех наклонных поверхностях возникают нормальные силы, которые равны:

$$F_N = \frac{F_o}{4 \sin \frac{\alpha}{2}}, \tag{1}$$

где F_o – осевая сила от перемещения поршня гидроцилиндра, Н; α – угол заострения клина.

Усилие F_y на плоскость раскола между шпурами действует как растягивающая (раскалывающая) сила, а сила F_x действует как сжимающая сила, значения которых можно определить из расчетной схемы, приведенной на рисунке 5, при симметричном выполнении клина, когда раскалывающие силы возникают одновременно по оси x и оси y :

$$F_y = F_x = F_N \cdot \cos \frac{\alpha}{2} = \frac{F_o}{4 \sin \frac{\alpha}{2}} \cos \frac{\alpha}{2} = \frac{F_o}{4 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}, \quad (2)$$

где F_N – нормальная сила на наклонных поверхностях щек, Н.

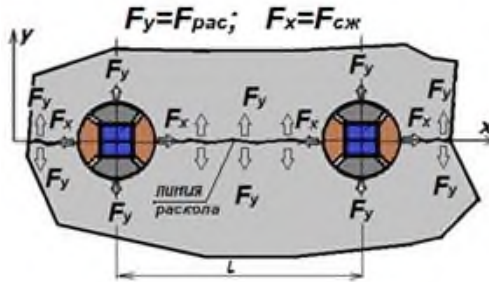


Рисунок 5 – Схема действия сил в плоскости (y - x), перпендикулярной оси шпура

В свою очередь эта нормальная сила при движении клина создает силу трения F_{mp} (рис. 4): $F_{mp} = F_N \cdot f$, где f – коэффициент трения между клином и раздвижными щеками.

При проецировании силы трения на ось z появляется сила F_z , направленная противоположно направлению движения клина и подстановке приведенных параметров, равная по величине:

$$F_z = F_{mp} \cos \frac{\alpha}{2} = F_N \cdot f \cdot \cos \frac{\alpha}{2} = \frac{F_o \cdot f}{4 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}. \quad (3)$$

Тогда действительная осевая сила будет:

$$F_{o.д.} = F_o - F_z = F_o \left(1 - \frac{f}{4tg \frac{\alpha}{2}} \right). \quad (4)$$

При подстановке действительного значения осевой силы $F_{o.д.}$ в зависимость (2) формула определения раскалывающих усилий F_x и F_y примет вид:

$$F_y = F_x = \frac{F_{o.д.}}{4tg \frac{\alpha}{2}} = \frac{F_o \left(1 - \frac{f}{4tg \frac{\alpha}{2}} \right)}{4tg \frac{\alpha}{2}}, \quad (5)$$

где в скобках указана величина значения влияния сил трения, которую можно выразить как:

$$\kappa = 1 - \frac{f}{4tg \frac{\alpha}{2}}. \quad (6)$$

Тогда поперечные раскалывающие силы можно принять как:

$$F_y = F_x = \frac{F_o \cdot \kappa}{4tg \frac{\alpha}{2}}. \quad (7)$$

До настоящего момента в этой работе рассматривались зависимости, по которым можно определить усилия, возникающие на рабочих поверхностях раздвижных щек от осевой силы, действующей на клин. Формы поперечных сечений раздвижных щек можно изготовить различной формы: полукруглыми, призматическими, заостренными в виде клиньев, при этом напряжения, возникающие в плоскости раскола, могут иметь различный характер. В дальнейшем рассматривается влияние формы рабочей поверхности дополнительных раздвижных щек на величину возникающих напряжений.

Рассмотрим *первый случай*, когда форма рабочих поверхностей раздвижных щек выполнена в виде **сектора окружности**, как

показано на рисунке 6. В этом случае в плоскости раскола возникают напряжения растяжения $\sigma_{рас}$ от действия сил F_y и напряжения сжатия $\sigma_{сж}$ от действия силы F_x (рис. 6 б). Радиус закругления рабочих поверхностей дополнительных щек меньше радиуса закругления основных щек, вследствие чего первоначальный контакт дополнительной щеки с материалом происходит в точке А (рис. 6 а), и по мере внедрения щеки в материал сжимающая сила F_x создает нормальные составляющие силы F'_N по обе стороны от оси x , которые определяются зависимостью:

$$F'_N = \frac{F_x}{2 \cos \frac{\delta}{2}}, \quad (8)$$

где $\delta/2$ – угол между нормальным усилием F'_N и осью x .

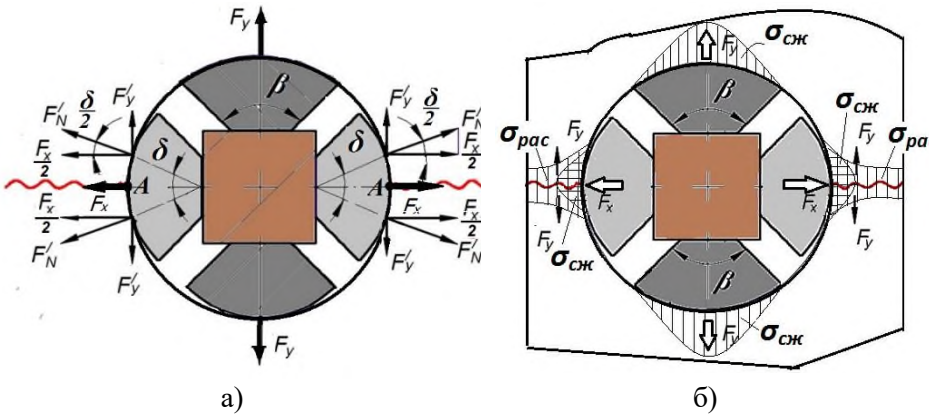


Рисунок 6 – Схема действия сил (а) и картина напряжений (б)

В свою очередь разложение нормальных сил F'_N приводит к появлению составляющих $F_x/2$ и F'_y .

И усилие F'_y будет равно:

$$F'_y = \frac{F'_N}{2 \operatorname{tg} \frac{\delta}{2}}, \quad (9)$$

где $\delta/2$ – угол между направлением нормальных сил F'_N и осью x , $\delta \neq \operatorname{const}$, угол δ напрямую зависит от величины внедрения щеки в материал.

Произведем подстановки

$$F'_y = \frac{\frac{F_x}{2 \cos \frac{\delta}{2}}}{2 \operatorname{tg} \frac{\delta}{2}} = \frac{F_x}{4 \cos \frac{\delta}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\delta}{2}} = \frac{\frac{F_o \cdot \kappa}{4 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}}{4 \cos \frac{\delta}{2} \cdot \frac{\sin \frac{\delta}{2}}{\cos \frac{\delta}{2}}} = \frac{F_o \cdot \kappa}{16 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot \sin \frac{\delta}{2}}. \quad (10)$$

Отсюда результирующее раскалывающее усилие F_{pac} складывается из двух сил F_y и F'_y и с учетом одновременно работающих раскалывающих устройств n находится по формуле:

$$F_{pac} = (F_y + F'_y) \cdot n = \left[\frac{F_o \cdot \kappa}{4 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} + \frac{F_o \cdot \kappa}{16 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot \sin \frac{\delta}{2}} \right] \cdot n. \quad (11)$$

Тогда окончательно результирующее раскалывающее усилие F_{pac} примет вид:

$$F_{pac} = \frac{F_o \cdot \kappa \cdot n}{4 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \left(1 + \frac{1}{4 \sin \frac{\delta}{2}} \right). \quad (12)$$

Напряжение растяжения (раскола), возникающее в плоскости раскола твердого материала от действия усилия F_{pac} :

$$\sigma_{pac} = \frac{F_{pac}}{S_p} = \frac{F_{pac}}{l \cdot h} \geq [\sigma_{pac}], \quad (13)$$

где S_p – площадь плоскости раскола материала между шпурами (рис. 5), m^2 , l – расстояние между шпурами, м, h – глубина шпура, м.

Выполнение условия (13) гарантирует разрушение материала (камня).

Напряжение сжатия, возникающее в плоскости раскола от действия усилия F_x без учета сил трения:

$$\sigma_{сж} = \frac{F_x}{S_c} = \frac{\frac{F_o \cdot \kappa}{4 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}}{l \cdot l_c} = \frac{F_o \cdot \kappa}{4 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot l \cdot l_c}, \quad (14)$$

где S_c – площадь сектора щеки, m^2 , l – глубина шпура, м, l_c – длина дуги сектора щеки, м (рис. 6).

$$l_c = \frac{\pi \cdot \frac{d_{ш}}{2} \cdot \beta'}{180} = \frac{\pi \cdot d_{ш} \cdot \beta'}{360}, \quad (15)$$

здесь $d_{ш}$ – диаметр шпура, м, β' – угол дуги сектора щеки, град.

Окончательная формула для определения эквивалентного напряжения раскола хрупкого материала, приведенного из напряженного сложного плоского состояния к простому – одноосному при замене σ_I на $\sigma_{рас}$ и σ_{III} на $\sigma_{сж}$, то по гипотезе Мора [11] будет иметь следующий вид:

$$\sigma_3 = \frac{(\psi - 1) \cdot (\sigma_{сж} + \sigma_{рас}) + \sqrt{(1 - \psi)^2 \cdot (\sigma_{сж} + \sigma_{рас})^2 + 4\psi(\sigma_{сж} - \sigma_{рас})^2} - (1 - \psi) \cdot (\sigma_{сж} + \sigma_{рас})}{2\psi}, \quad (16)$$

где $\Psi = [\sigma_{рас}]/[\sigma_{сж}]$ – отношение пределов прочности растяжения и сжатия, $[\sigma_{сж}]$ – предел прочности на одноосное сжатие (табл. 1), $[\sigma_{рас}]$ – предел прочности на одноосное растяжение (раскол) (табл. 2).

Так как работа посвящена определению напряжений в плоскости раскола камней при различных формах рабочих поверхностей раздвижных щек, то в качестве материала для прикладного применения расчетов в таблицах 1 и 2 приведены значения пределов прочности растяжения (раскола) и сжатия различных пород камней. Природные камни по прочности на раскол в работе Пшеничной Е.Г. подразделены на пять классов (таблица 1) [18]. Но, как известно, напряжение раскола природных камней на порядок меньше напряжения сжатия [10, 13].

Второй случай, когда рабочие поверхности дополнительных раздвижных щек имеют **призматическую форму** с острой кромкой. В этом случае предполагается, что заостренная часть во время внедрения кромки щеки в тело камня создает концентрацию

напряжения сжатия $\sigma_{сж}^x$ в начале линии раскола, что способствует скорейшему образованию трещины (рис. 7).

Таблица 1– Классы прочности природных камней

Класс прочности	Предел прочности на растяжение (раскол), $[\sigma_{рас}]$ МПа	Характер разрушения
1	до 4	легко разрушаемые
2	4–8	средней трудности разрушения
3	8–12	трудно разрушаемые
4	12–18	весьма трудно разрушаемые
5	свыше 18	чрезвычайно трудно разрушаемые

Таблица 2 – Пределы прочности на сжатие магматических и метаморфических пород

Класс прочности	Порода	Предел прочности на сжатие, $[\sigma_{сж}]$ МПа	
		В сухом состоянии*	В водонасыщенном состоянии*
1	Долмиты	4,5 – 250	3,3 – 245
	Известняки	8,4 – 250	7,5 - 220
	Мраморы	20 - 200	10 - 160
2	Граниты	48 - 280	35 - 215
	Диориты	62 - 278	59 - 225
	Гранито-гнейсы	68 - 175	63 - 168
3	Андезиты	83 - 250	80 - 230
	Кварциты	90 - 329	----
	Сиениты	100 - 250	78 - 230
	Габбро	112 - 375	110 - 277
4	Базальты	100 - 500	95 - 450
5	Диабазы	310 - 370	----

*Широкий диапазон значений зависит от множества факторов, таких как однородность, трещиноватость монолита, слоистость, ориентация слоев и т.д.

Здесь разжимающие силы F_x и F_y и напряжение $\sigma_{сж}$ определяются аналогично, как в зависимости (8), а остальные параметры определяются, как приведено ниже.

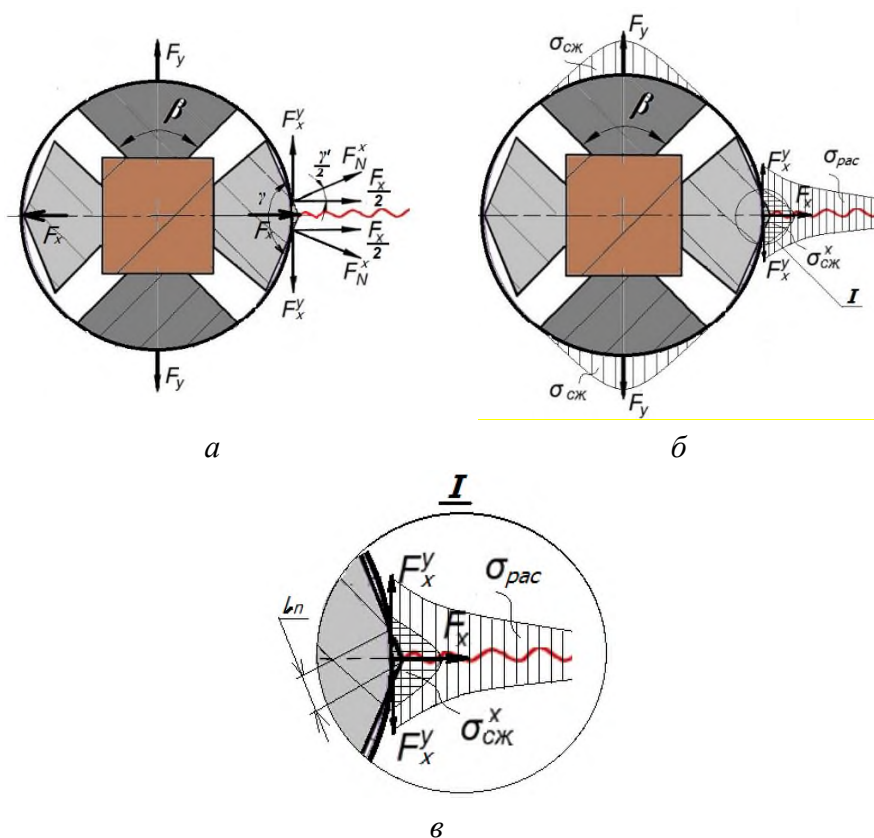


Рисунок 7 – Схема действия сил и картина напряжений

Нормальная сила F_N^x определяется следующей зависимостью:

$$F_N^x = \frac{\frac{F_x}{2}}{\sin \frac{\gamma'}{2}} = \frac{F_x}{2 \sin \frac{\gamma'}{2}}, \quad (17)$$

где γ – угол заострения рабочих граней дополнительной щеки, град,
 $\gamma' = \frac{180 - \gamma}{2}$ – угол между направлением действия усилия F_N^x и осью x . Тогда составляющее усилие F_x^y (см. рис. 7 а, в) будет:

$$F_x^y = \frac{F_N^x}{2tg \frac{\gamma'}{2}} = \frac{F_x / 2 \sin \frac{\gamma'}{2}}{2tg \frac{\gamma'}{2}} = \frac{F_x}{4tg \frac{\gamma'}{2} \cdot \sin \frac{\gamma'}{2}}.$$

Подставив значение усилия F_x из (7) с учетом влияния коэффициента трения f , имеем:

$$F_x^y = \frac{\frac{F_o \cdot \kappa}{2 \cdot tg \frac{\alpha}{2}}}{4tg \frac{\gamma'}{2} \cdot \sin \frac{\gamma'}{2}} = \frac{F_o}{8 \cdot tg \frac{\alpha}{2} \cdot tg \frac{\gamma'}{2} \cdot \sin \frac{\gamma'}{2}}. \quad (18)$$

Окончательно усилие раскола $F_{рас}$ складывается из сил, действующих по оси y (рис. 7 а), и с учетом количества одновременно участвующих раскалывающих устройств:

$$F_{рас}^y = n \cdot [F_y + F_x^y], \quad (19)$$

где n – количество гидравлических клиньев на линии раскола.

Подставив в формулу (19) выражения (7) и (18), окончательно с учетом дополнительной составляющей F_x^y получим зависимость раскалывающего усилия $F_{рас}^y$ от осевой силы F_o , действующей в гидроцилиндре без учета влияния трения, имеем:

$$F_{рас}^y = n \cdot \left[\frac{F_o \cdot \kappa}{4tg \frac{\alpha}{2}} + \frac{F_o \cdot \kappa}{8 \cdot tg \frac{\alpha}{2} \cdot tg \frac{\gamma'}{2} \cdot \sin \frac{\gamma'}{2}} \right] = \frac{F_o \cdot \kappa \cdot n}{4tg \frac{\alpha}{2}} \cdot \left[1 + \frac{\cos \frac{\gamma'}{2}}{2 \cdot \sin^2 \frac{\gamma'}{2}} \right]. \quad (20)$$

Напряжение растяжения, действующее в плоскости раскола, в этом случае будет:

$$\sigma_{рас} = \frac{F_{рас}^y}{S_p} = \frac{F_o \cdot \kappa \cdot n}{l \cdot h} \left[1 + \frac{\cos \frac{\gamma'}{2}}{2 \cdot \sin^2 \frac{\gamma'}{2}} \right], \quad (21)$$

где S_p – площадь плоскости раскола материала между шпурами, мм², l – расстояние между шпурами (рис. 5), мм, h – глубина шпура, мм.

Напряжение сжатия $\sigma_{сж}^x$ дополнительной щеки от действия усилия F_x (рис. 7 б, в):

$$\sigma_{сж.}^x = \frac{F_N^x}{2S_n} = \frac{2 \sin \frac{\gamma'}{2}}{2 \cdot l_n \cdot h} \frac{F_x}{4 \cdot l_n \cdot h \cdot \sin \frac{\gamma'}{2}}, \quad (22)$$

где S_n – площадь контактной площадки дополнительной щеки, мм², l_n – ширина площадки внедрения призматической грани в материал, мм, h – глубина шпура, мм.

Подставив F_x из (7), имеем:

$$\begin{aligned} \sigma_{сж.}^x &= \frac{F_x}{4 \cdot l_n \cdot h \cdot \sin \frac{\gamma'}{2}} = \frac{\frac{F_o \cdot \kappa}{4 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}}{4 \cdot l_n \cdot h \cdot \sin \frac{\gamma'}{2}} = \\ &= \frac{F_o \cdot \kappa}{16 \cdot l_n \cdot h \cdot \sin \frac{\gamma'}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \end{aligned} \quad (23)$$

Эквивалентное напряжение в этом случае определяется так же, как и в (16), с той лишь разницей, что в этом случае необходимо подставлять значения $\sigma_{рас}$ и $\sigma_{сж}^x$ из зависимостей (21) и (23) по формуле:

$$\sigma_3 = \frac{(\psi - 1) \cdot (\sigma_{сж}^x + \sigma_{рас}^x) + \sqrt{(1 - \psi)^2 \cdot (\sigma_{сж}^x + \sigma_{рас}^x)^2 + 4\psi(\sigma_{сж}^x - \sigma_{рас}^x)^2 - (1 - \psi) \cdot (\sigma_{сж}^x + \sigma_{рас}^x)}}{2\psi}. \quad (24)$$

Таким образом, в первой части представленной статьи рассмотрено влияние двух форм рабочей поверхности дополнительных раздвижных щек раскалывающей головки гидравлического клина на напряжения сжатия и растяжения в плоскости раскола твердого материала. Во второй части статьи будет рассмотрено влияние на напряжения в рабочей зоне рабочих поверхностей дополнительных раздвижных щек выполненным с заострением с достаточно малым углом и радиусом закругления при вершине.

Литература

1. Усубалиев Ж., Эликбаев К. Т., Райымбабаев Т. О. / [Текст]. Обзор технологий отделения блока природного камня от массива с помощью буровых способов и невзрывчатых разрушающих средств (НРС). // Усубалиев Ж., Эликбаев К. Т., Райымбабаев Т. О. Машиноведение № 2 (8). – Бишкек: ИМА НАН КР, 2018. – С. 59 – 70.
2. Усубалиев Ж., Эликбаев К. Т., Райымбабаев Т. О. / [Текст]. Обзор технологий отделения блока природного камня от массива с помощью камнерезных машин и гидравлических раскалывателей (HRS). // Усубалиев Ж., Эликбаев К. Т., Райымбабаев Т. О. Машиноведение № 2(8). – Бишкек: ИМА НАН КР, 2018. – С. 71– 82.
3. Природный камень, его виды и применение. <https://gantelstan.ru/baza-znaniy/137-natural-stones>. Дата обращения 24.12.2022 г.
4. Усубалиев Ж., Эликбаев К. Т., Райымбабаев Т. О. / [Текст]. Обзор конструкций гидравлических клиновых устройств для отделения блока камня от массива. // Усубалиев Ж., Эликбаев К. Т., Райымбабаев Т. О. Машиноведение № 1(13). – Бишкек: ИМА НАН КР, 2021. – С. 52. – 64.
5. ГОСТ 9479—84 (СТ СЭВ 6315—88). Блоки из природного камня для производства облицовочных изделий. Технические условия.

6. Авторское свидетельство SU 1314052 А1, кл. E21 С 37/02, 1984 / [Текст]. Рабочий орган для направленного разрушения монолитных объектов. Авторы: Алимов О. Д., Мамасаидов М. Т., Мендекеев Р. А. / Бюл. №20. Оpubл. 30.05.87. <https://patents.su/3-1314052-rabochijj-organ-dlya-napravlenno-go-razrushe-niyamo-nolit-nykh-obektov.html>
7. Авторское свидетельство SU 1 104267 А1, кл. E21С 37/02, 1984, / [Текст] Гидроклин. Авторы: Каныгин А. С., Жидков А. В., Булавцев В. А. / Бюл. № 27. Оpubл.23.07.1984. Freepatent патентный поиск в РФ <http://www.freepatent.ru/patents/2087711>
8. Авторское свидетельство SU 1218105 А, кл. E21С 37/02, 1980, / [Текст]. Устройство для направленного разрушения монолитных объектов. Авторы: Каныгин А. С., Охрямкин В. А., Жидков А. В., Булавцев В. А. / Бюл. № 10. Оpubл.15.03.1986. <https://patents.su/2-1218105-ustrojstvo-dlya-napravlenno-go-razrusheniya-monolitnykh-obektov.html>
9. Авторское свидетельство SU 899937А1, кл. E21С 37/02, 1982, / [Текст]. Устройство для направленного разрушения минеральных сред. Авторы: Михайлович А.А., Тлеубаевич А.М., Никитович К.К. / Бюл. №3. Оpubл. 23.01.82. https://yandex.ru/patents/doc/SU899937A1_19820123
10. Прочность горных пород в сложном напряженном состоянии. <https://docplayer.ru/54096354-Glava-3-prochnost-gornyh-porod-v-slozhnom-napryazhenom-sostoyanii-razvitie-predstavleniy-o-prochnosti-i-razrushenii-tverdyh-tel.html>. Дата обращения 01.09.2022.
11. Механика горных пород. / Под ред. акад. С.С. Гребёнкина и проф. Гавриша Н. Н. // Уч. пособие. Донецкий нац. технич. университет. – Донецк, 2004. –176 с.