

Method of Evaluating Normal Stresses Developed by the Expanding Cement Stone

Методика оценки нормальных напряжений развиваемых расширяющимся цементным камнем

H.V. Gazizov (Burintekh),
Sh. H. Gazizov (Novator), Ufa

Х.В. Газизов (ООО НПП «БУРИНТЕХ»),
Ш.Х. Газизов (ООО НПП «Новатор»), г. Уфа

As known, expansion of cement stone after the start of cement setting ensures effective sealing of contact points between cement ring, borehole wall and pipe. However, there is no simple method for determining the value of the contact pressure of the expanding cement stone on the walls of the well. Samples of cement stone extruded from the cylinder bushing remain the most common way to assess the cohesion strength of cement stone and its bounding surfaces. This testing method evaluates shear stress on the surfaces of contact between cement stone and inner surface of the bushing.

However, the tightness of the contact between cement stone, pipe surface and borehole wall depends mainly on the value of normal pressure in the contacting surfaces. Therefore, the extrusion force and determined by it shear stress not always characterize well casing integrity using cement sheath – borehole wall contact surfaces. For example, extrusion of settled cement stone (using cylindrical bushing) also requires great effort, which depends on friction value between the cement stone and metal surface, although there is practically no normal stresses between the cement stone and bushing surface.

Application of self-expanding plugging material between the cement sheath and the contacting surfaces (during cement stone expansion) produces normal stresses that contribute to better sealing between the cement sheath and the surrounding surfaces. For self-expanding cement, bushing extrusion force is greater because of the impact of normal stresses on the value of shear friction. Having defined, by standard methods, the friction ratio between the cement stone and the bushing, we can also determine the value of the normal stresses generated by expanding cement stone.

Extrusion force P is defined by:

$$P = \kappa_c \cdot N + \tau_{ad} \cdot F_k \tag{1}$$

Where κ_c – friction ratio;

N – standard pressure force;

τ_{ad} – cohesion stress on displacing cement stone with a contact surface;

F_k – the area of contact between cement stone and the bushing.

Dividing the expression (1) on the area of the contact F_k gives us values of shear stress and normal stress appearing at the contact between cement stone and bushing surface. As a result, we get:

$$\tau = \kappa_c \cdot \sigma + \tau_{ad} \tag{2}$$

Как известно, расширение цементного камня после начала схватывания цементного раствора способствует эффективному уплотнению контакта цементного кольца со стенкой скважины и колонной, однако нет достаточно простого метода определения величины контактного давления расширяющегося цементного камня на стенки скважины. Наиболее распространенным способом оценки прочности сцепления цементного камня с ограничивающими ее поверхностями остается выдавливание образцов цементного камня из цилиндрической втулки. При этом способе испытаний могут определяться напряжения сдвига на поверхностях контакта цементного камня с внутренней поверхностью втулки.

Однако герметичность зоны контакта цементного камня с поверхностью колонны и стенкой скважины в основном зависит от величины нормальных напряжений в контактирующих поверхностях. Поэтому усилие выдавливания и определяемые по нему касательные напряжения не всегда характеризуют герметичность крепи скважины по контактным поверхностям «цементное кольцо – стенки скважины».

Так, например, и при выдавливании цементного камня из цилиндрической втулки, который имеет усадку, также требуется достаточное большое усилие, которое зависит от коэффициента трения между цементным камнем и металлической поверхностью, хотя нормальные напряжения между цементным камнем и стенкой втулки практически отсутствуют.

При применении расширяющихся тампонажных материалов между цементным кольцом и контактирующими с ним поверхностями при расширении цементного камня возникают нормальные напряжения, которые способствуют повышению герметичности зоны контакта цементного кольца с ограничивающими поверхностями. Усилие выдавливания цементного камня из втулки для расширяющихся цементов оказывается больше из-за влияния нормальных напряжений на величину трения при сдвиге. Определив известными методами коэффициент трения цементного камня с поверхностью материала втулки, можно определить и величину нормальных напряжений, создаваемых цементным камнем при его расширении.

Сила выдавливания P определяется по формуле:

$$P = \kappa_c \cdot N + \tau_{ad} \cdot F_k \tag{1}$$

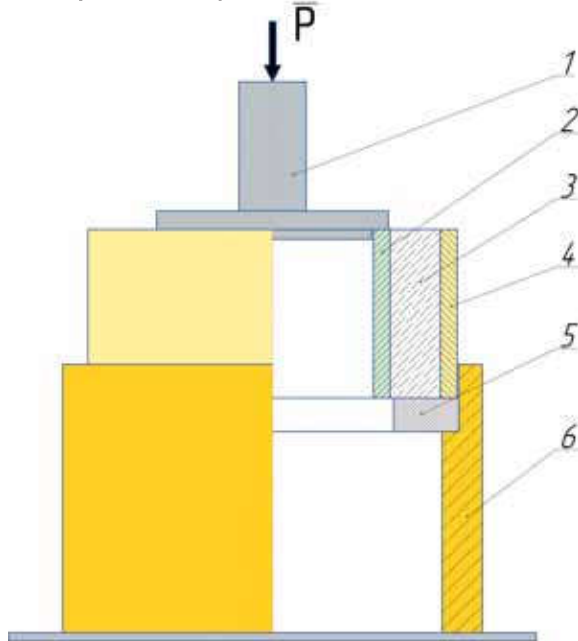
где κ_c – коэффициент трения скольжения;

N – сила нормального давления;

τ_{ad} – напряжение сцепления при сдвиге цементного камня с поверхностью кон-

● Fig. 1. Schematics of a device for determining shear stress on displacing cement sheath with the inner cylindrical surface.

● Рис. 1. Схема приспособления для определения напряжений при сдвиге цементного кольца с внутренней цилиндрической поверхностью.



1 – punch, 2 – inner ring, 3 – cement stone, 4 – outer ring, 5 – split ring, 6 – holder;

1 – пуансон; 2 – внутреннее кольцо; 3 – цементный камень; 4 – внешнее кольцо; 5 – упорное кольцо; 6 – обойма.

where σ – normal stresses on the contact surface.

Given that absence of expansion means no normal stress on the point of contact between cement stone and bushing surface, i.e., $N = 0$, formula (1) becomes:

$$P = \tau_{ad} \cdot F_k \quad (3)$$

this determines the cohesive force τ_{ad} between cement stone and the bushing. As a result of the equation (2), knowing the friction ratio of the cement stone and metal, we can determine the normal stresses at the point of contact between the cement sheath and the surrounding surface.

$$\sigma = \frac{(\tau - \tau_{ad})}{K_c} \quad (4)$$

To determine the contact stresses applied by the expanding cement stone onto surrounding cylindrical surface, we use the method presented in work [1].

By this method, bonding force is determined by the displacement of the cement sheath relative to surrounding concentric rings which simulate inter-tubular or annular space in the well. Cement mortar is grouted into the annular cavity formed by two cylindrical casings. Shear stress on the inner surface, simulating a column is determined by applying load to the cement stone as shown on Fig. 1.

Shear stress at displacement of cement sheath with outer surrounding surface (the borehole wall, or annular space – between the inner wall of the outer columns) is determined by applying a load as shown on Fig. 2.

Tangential shear stress on displacing the outer surface is defined by equation 5

$$\tau_{cd} = \frac{P}{F_H} \quad (5)$$

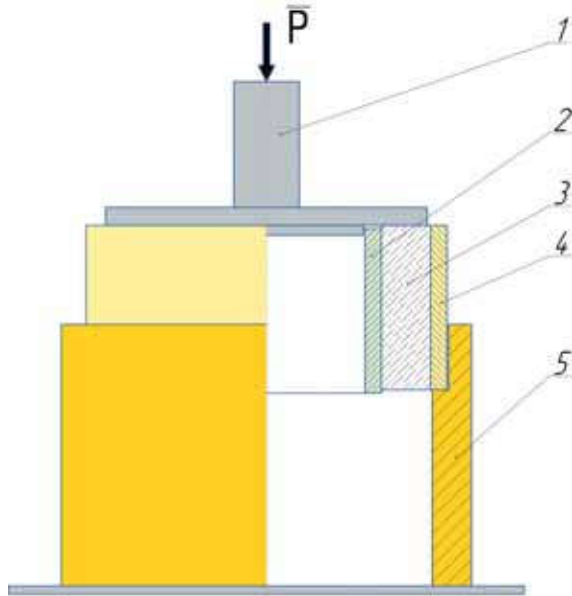
where P – extrusion force, kN;

F_H – area of contact between the cement ring and the inner surface of the outer ring.

Cohesion on the inner surface is defined by equation 6

● Fig. 2. Schematics of a device for determining cohesion for the cement sheath with the outer surrounding surface.

● Рис. 2. Схема приспособления для определения сцепления цементного кольца с наружной охватывающей поверхностью.



в работе [1].

По данной методике, сцепление определяется сдвигом цементного кольца относительно охватывающих ее концентрических колец, моделирующих межтрубное или затрубное пространство скважины. В форму, представляющую собой кольцевую полость, образованную двумя цилиндрическими оболочками, заливается цементный раствор. Напряжение при сдвиге по внутренней поверхности, имитирующей колонну, определяется приложением нагрузки на форму с цементным камнем по схеме, представленной на рис. 1.

Напряжения при сдвиге цементного кольца с наружной охватывающей оболочкой (стенкой скважины или, для межколонного пространства, – с внутренней стенкой внешней колонны) определяются приложением нагрузки по схеме, указанной на рис. 2.

Касательные напряжения при сдвиге по внешней поверхности определяются по формуле 5

$$\tau_{cd} = \frac{P}{F_H} \quad (5)$$

где P – усилие выдавливания, кН;
 F_H – площадь контакта цементного кольца с внутренней поверхностью внешней оболочки.

Сцепление по внутренней поверхности определяется по формуле 6

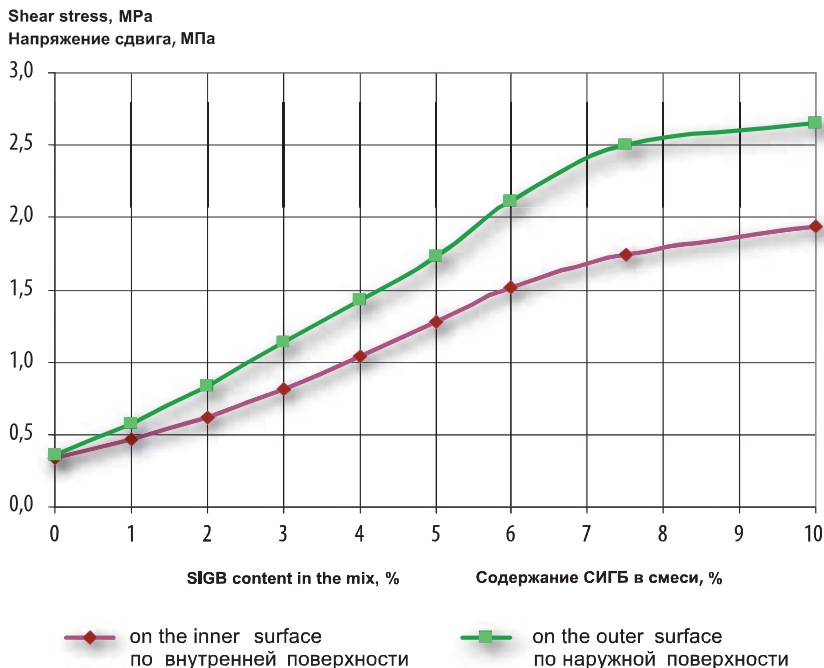
$$\tau_{cd} = \frac{P}{F_b} \quad (6)$$

где P – усилие выдавливания, кН;
 F_b – площадь контакта цементного кольца с наружной поверхностью внутреннего кольца.

В таблице приведены показатели тампонажного раствора и величина расширения

● Impact of the SIGB expansion additive on the parameters of cement slurry and cement stone expansion
● Влияние расширяющейся добавки марки СИГБ на параметры тампонажного раствора и расширение цементного камня

No. / № п.п.	Liquid composition, % Состав смеси, %		W/C ratio В/Ц	Average diameter, mm Д ср., мм	°C	Expansion of cement-stone mix after 48 hours, % Расширение цементного раствора-каменя через 48 часов, %
	PCT 1-50 ПЦТ 1-50	RD "SIGB" РД «СИГБ»				
0	100	-	0.5	225	22	0
1	99	1	0.5	238	22	0.147
2	98	2	0.5	242	22	0.226
3	97	3	0.5	247	22	1.27
4	96	4	0.5	250	22	1.95
5	95	5	0.5	255	22	3.80
6	94	6	0.5	260	22	6.60
7	92.5	7.5	0.5	267	22	9.51
8	90	10	0.5	274	22	12.79



● Fig. 3. The impact of expansion additive on the shear stress of cement sheath displacement (cement sheath cohesion with surrounding surface).
● Рис. 3. Влияние количества расширяющейся добавки на напряжения при сдвиге цементного кольца (сцепление цементного кольца с охватываемыми поверхностями).

$$\tau_{ca} = \frac{P}{F_e}$$

where P – extrusion force, kN;
 F_e – the area of contact between cement ring and the outer surface of the inner ring.

The table shows the performance of the cement slurry and cement stone expansion rate depending on the number of expansion additive SIGB.

For small quantities RD (1-2 percent), the expansion of cement stone is insignificant. Noticeable expansion begins with increasing expansion additive content in the dry mixture to over 2 percent.

The graph (Fig. 3) shows relations of the shear stress curves on the inner and outer covering cylindrical surfaces, calculated by equations 5 and 6.

Adding more expansion additive to the grouting mixture increases surface shear stress. The level of surface stress for cement stone with a surrounding surface is notable even at injection of only 1 percent of expansion additive.

Pressure of the cement stone during expansion onto the surrounding cylindrical surface is defined by equation 4.

Impact of SIGB expansion additive on the value of normal stress as shown on the graph (Fig. 4)

Increasing expanding additive levels in the grouting mixture results in growing surface stress of cement sheath and the surrounding surface. With over 10 percent of SIGB expansion additive in the dry mixture value of normal stresses developed by the cement stone expansion reaches 4.6 MPa. Shown on Fig. 4 data indicate that the pressure of the cement stone with SIGB expansion additive onto the outer cylindrical surface is greater than onto the inner surface. ●

REFERENCES

1. Gazizov H.V., Malikov E.L., "Method of Determining the Cement Sheath Cohesion with the Walls of the Well" // "New in Geology and Development of Oil Fields in Bashkortostan". – Collection of articles, Ufa. Ed. Bashgeoproekt. Vol. 120. – 2008. – 294 p.; pp. 199-201.

цементного камня в зависимости от количества расширяющейся добавки СИГБ.

При малых количествах РД (1-2%) величина расширения цементного камня незначительна. Заметное расширение начинается при увеличении содержания расширяющейся добавки в сухой смеси более 2%.

На графике (рис. 3) представлены зависимости касательных напряжений по внутренней и внешней охватываемым цилиндрическим поверхностям, рассчитанные по формулам 5 и 6.

С увеличением содержания расширяющейся добавки в тампонажной смеси контактные напряжения при сдвиге возрастают. Величина контактных напряжений цементного камня с охватываемыми поверхностями становится ощутимой уже при введении 1% расширяющейся добавки.

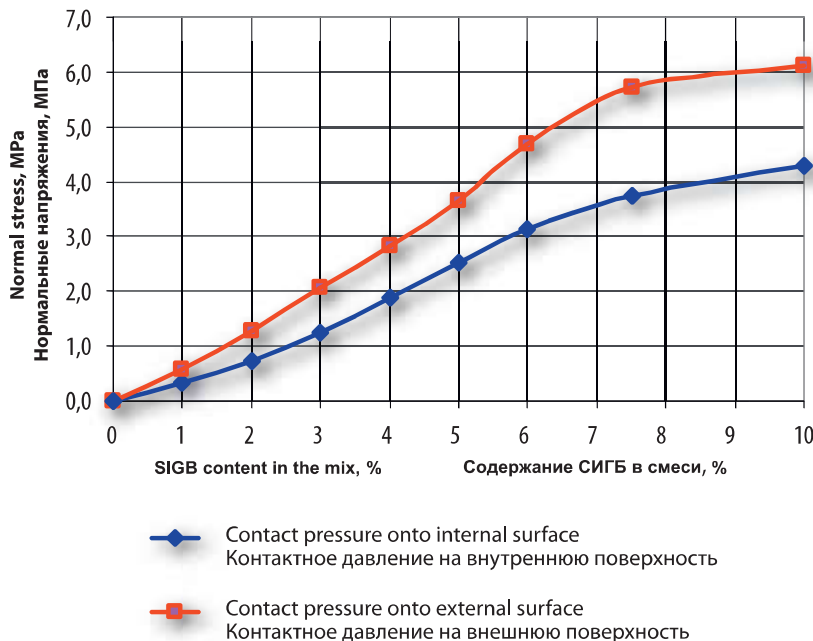
Давление, оказываемое цементным камнем при расширении на охватываемые цилиндрические поверхности, определяется по формуле 4.

Влияние содержания расширяющейся добавки СИГБ на величину нормальных напряжений приведено на графике (рис. 4)

С увеличением количества расширяющейся добавки в тампонажной смеси наблюдается увеличение контактных напряжений цементного кольца с охватываемыми ее поверхностями. При количестве расширяющейся добавки СИГБ 10% в составе сухой смеси величина нормальных напряжений развиваемых цементным камнем при расширении достигает 4-6 МПа. Из приведенных на рис. 4 данных следует, что давление цементного камня с расширяющейся добавкой марки СИГБ на наружную цилиндрическую поверхность оказывается больше чем на внутреннюю. ●

ЛИТЕРАТУРА

(6) 1. Газизов Х.В., Маликов Е.Л. Методика определения сцепления цементного кольца со стенками скважины // Новое в геологии и разработке нефтяных месторождений Башкортостана. – Сборник статей, Уфа. Изд. Башгеопроект. Вып. 120. – 2008. – 294 с.; стр. 199-201.



● Fig. 4. Impact of SIGB expansion additive on the value of normal stress, point of contact between cement sheath and surrounding cylindrical surface.
● Рис. 4. Влияние содержания СИГБ на величину нормальных напряжений на контакте цементного кольца с охватываемыми цилиндрическими поверхностями.