ІШКІ ҚЫСЫММЕН ЖҰМЫС ІСТЕЙТІН АЛДЫН-АЛА КЕРНЕУЛЕНГЕН МҰНАЙ ЖӘНЕ ГАЗ ҚҰБЫРЛАРЫНЫҢ ШЕКТІ ҚЫСЫМЫ

Н.Ж. ЖАҢАБАЙ¹,
техника ғылымдарының
кандидаты, директор, доцент

А.Б. УТЕЛБАЕВА¹,
химия ғылымдарының
докторы, доцент

¹**А.Қ. ӨНЕР,** магистрант,

¹**Т. ТҰРСҰНҚҰЛҰЛЫ,** докторант,

²**Б.Ш. ХАСАНХОДЖАЕВА,** педагогика ғылымдарының магистрі

¹М. ӨУЕЗОВ АТЫНДАҒЫ ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН УНИВЕРСИТЕТІ,
Қазақстан Республикасы, 160012, Шымкент қ., Тәуке хан даңғылы, 5

²SILKWAY INTERNATIONAL UNIVERSITY,
Қазақстан Республикасы, 160000, Шымкент қ., Тоқаев көшесі, 27

Мақалада алдын ала кернеуленген мұнай және газ құбырларында, сонымен қатар қабықша конструкцияларында алдын ала кернеуді пайдалану кезіндегі ішкі қысымды шекті нүктеге дейін жоғарлатып, қабықшы немесе ораманың бұзылуының шектік күйін анықтау мәселелері қарастырылып біріккен конструкцияның өрнек формуласы көрсетілген. Көрсетілген конструкция алдын ала кернеуленген мұнай және газ құбырларын жобалау кезінде қажетті көрсеткіштерді ескере отырып біріккен конструкциялардың құрлысымен эксплуатациясы кезіндегі экономикалық тиімділікті арттыруға бағытталған.

Сонымен қатар алынған есептеме әдістемесін тік цилиндрлі болат резвуарларды эксплуатациясы кезінде және ғылыми-жобалау институттарында да пайдалана алынады.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: алдын ала кернеу, құбыр, қабықша, мұнай – газ, орама, арматура, қысым.

КРИТИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ НА НЕФТЕ- И ГАЗОПРОВОДЫ, РАБОТАЮЩИХ ПОД ВНУТРЕННИМ ДАВЛЕНИЕМ

¹**Н.Ж. ЖАҢАБАЙ**, директор департамента испытательных лабораторий, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленное, гражданское и дорожное строительство»

¹**А.Б. УТЕЛБАЕВА**, доктор химических наук, доцент кафедры «Химия»

¹**А.Қ. ӨНЕР**, магистрант кафедры «Промышленное, гражданское и дорожное строительство»

¹**Т. ТҮРСҮНҚҰЛЫ**, докторант кафедры «Промышленное, гражданское и дорожное строительство»

²**Б.Ш. ХАСАНХОДЖАЕВА**, магистр педагогических наук, преподаватель кафедры «Химия и биология»

¹ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. М.АУЭЗОВА,
Республика Казахстан, 160012, г. Шымкент, проспект Тауке хана, 5

²SILKWAY INTERNATIONAL UNIVERSITY,
Республика Казахстан, 160000, г. Шымкент, улица Токаева, 27

В статье рассматриваются вопросы применения предварительного напряжения в стальных предварительно напряженных газонефтепроводах, а также в оболочечных конструкциях в случае повышения внутреннего избыточного давления до критической точки разрыва самой оболочки или обмотки, где также было получено выражение, при котором можно рассчитать предельное рабочее давление комбинированной конструкции, то есть стальную оболочку и стальную обмотку, что в дальнейшем при проектировании подобных конструкций значительно облегчит подбор нужных параметров для более эффективного строительства и эксплуатации подобных конструкций.

Вместе с тем данная методика расчета может также использоваться отраслями промышленности, эксплуатирующих вертикальные цилиндрические резервуары для нефти и нефтепродуктов, научно-исследовательскими и проектными институтами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: предварительное напряжение, трубопровод, оболочка, нефть и газ, обмотка, арматура, давление.

CRITICAL PRESSURE ON OIL AND GAS PIPELINES OPERATING UNDER INTERNAL PRESSURE

¹**N.Z. ZHANGABAY**, Director of the Department testing laboratory, candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department "Industrial, civil and road construction"

¹**A.B. UTELBAYEVA**, doctor of chemical Sciences, associate Professor of "Chemistry"

¹**A.K. ONER**, post graduate student of the Department "Industrial, civil and road construction"

¹**T. TURSUNKULYLY**, doctoral student of the Department "Industrial, civil and road construction"

²**B.S. KHASSANKHODJAYEVA**, master of pedagogical Sciences, lecturer of the Department "Chemistry and biology"

¹M.AUEZOV SOUTH KAZAKHSTAN UNIVERSITY,
Republic of Kazakhstan, 160012, Shymkent, Tauke Khan Avenue, 5

²SILKWAY INTERNATIONAL UNIVERSITY,
Republic of Kazakhstan, 160000, Shymkent, Tokayev street, 27

The article deals with the issue of applying prestressed stress in steel prestressed gas and oil pipelines, as well as in shell structures in the case of an increase in internal overpressure to the critical point of rupture of the shell or winding itself, where the expression was also taught that it is possible to calculate the maximum operating pressure of a combined structure, that is, a steel shell and a steel winding, which in the future, when designing such structures, will significantly facilitate the selection of the necessary parameters for more efficient construction of such structures.

However, this calculation method can be used by industries that operate vertical cylindrical tanks for oil and petroleum products, research and design institutes.

KEY WORDS: Perdvaritelnoe voltage, pipeline, shell, oil and gas, winding, fittings, pressure.

Кұбыр желілері бүкіл әлемде және біздің елімізде мұнай мен газды тасымалдаудың ең тиімді құралдарының бірі болып табылатыны баршаға мәлім. Мұнда беріктік, ұзақ мерзімділік, үздіксіз жұмыс істеу, сондай-ақ тасымалдау көлемі бүкіл әледе өте өзекті міндеттер болып табылады.

Соның салдарынан өнеркәсіпте көмірсутек шикізатын газ - мұнай құбырлары арқылы тасымалдау кезінде артық ішкі қысымды бастан кешіретін құбырлардың беріктігін, көтергіштік қабілетін арттыру үшін алдын ала кернеу қолданылады.

Мұндай қатайту өткізу қабілеті немесе көлемі жұмыс қысымына тікелей пропорционалды болатын қабық конструкцияларына қатысты. Бұл жағдайда алдын-ала кернеудің ең тиімді түрі - жоғары берік профильді қабықтың сыртына орама (арматура, сым, таспа, шыны талшық және т.б.). Профильді орама қабықтың бойлық осіне бұрыш арқылы немесе көлбеу емес айналмалы бағытта жүзеге асырылады.

Сонымен бірге, соңғы жылдары ғылыми-техникалық әдебиеттерде теориялық зерттеулерге және ішкі қысыммен жұмыс істейтін және сенімділік, беріктік және материалдарды үнемдеу мәселелерін шешудің тиімді әдістерінің бірі ретінде қарастыруға болатын алдын-ала кернеулі дөңгелек цилиндрлік қабықтарды практикалық іске асыру мәселелеріне арналған бірқатар жұмыстар пайда болды [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

Орама шамасы есептеумен анықталатын кейбір алдын ала (монтаждық) керілумен қабықтың сыртқы бетіне оралады.

Орау *суретке* сәйкес қабықтың бойлық осіне перпендикуляр немесе бұрышта бір немесе бірнеше қабатта жасалуы мүмкін.

Алдын-ала кернеу арқылы (қабықтың корпусына жоғары беріктігі бар таспаларды, сымдарды немесе жіптерді орау) қабықтың көтергіштігін арттыру (беріктігін арттыру), құрылымдардың құнын төмендету, ал кейбір жағдайларда дайындаманы жеңілдету және қалыңдығы аз парақтарды дәнекерлеу арқылы азайту және еңбек сыйымдылығын азайту арқылы.

Алдын ала кернеулі ораманы тиімді қолданудың тағы бір мысалы оны пайдалану параметрлері өзгерген кезде қолданыстағы құрылымды күшейту үшін немесе қажет

Сурет – Қабықтың корпусына ораманың схемасы

а) қабықтың бойлық осіне перпендикуляр; б) қабықтың бойлық осіне бұрыштар

болған жағдайда құбырдағы ішкі қысымның жоғарылауымен және айдау жылдамдығының жоғарылауымен бірге жүретін құбырдың өткізу қабілетін арттыру үшін пайдалану болуы мүмкін [3]. Сонымен қатар, құбырды күшейту технологиялық процесті тоқтатпай жүзеге асырылуы мүмкін, бұл үнемдеу тұрғысынан маңызды.

Жоғарыда келтірілген талдау алдын-ала кернеусіз қабықпен салыстырғанда алдын-ала кернеулі қабықтың қолдану перспективасын, қасиеттері мен мінез-құлқының алуан түрлілігін көрсетеді. Алдын ала кернеулі қабықтың кернеулі - деформацияланған күйін өзгерту арқылы басқару мүмкіндігін қолдана отырып, нақты пайдалану жағдайларына байланысты неғұрлым ұтымды, оңтайлы және жоғары технологиялық конструкцияны жасай отырып, құрылымның көтергіш қабілетін толығымен пайдалануға болады.

Алайда, жүргізілген зерттеулер белгілі бір жұмыс жағдайында және алдын-ала кернеудің құрылымдық параметрлерінде белгілі бір құрылымның жұмыс ерекшеліктерін зерттеуге бағытталған. Жүргізілген зерттеулерді қорытындылауға және негізінен алдын-ала кернеуді ескере отырып, артық қысымның әсерін зерттеуге бағытталған жұмыстар іс жүзінде жоқ.

Осылайша, алдын-ала кернеудің ұсынылған конструкцияны қолдана отырып, цилиндрлік қабықты бірдей күшті етіп жасауға болады және ішкі қысым кезінде бойлық кернеулерден 2 есе көп болатын барлық цилиндрлік қабықтардың маңызды жетіспеушілігіне жетуге болады.

Ішкі қысыммен жүктеу кезінде орнықтылықты жоғалтумен байланысты құбырлар мен қабықшалы конструкциялардың шекті жай-күйі екі жолмен іске асырылатыны белгілі [8, 10, 11, 12]:

1) Ішкі қысым P белгілі бір максималды мәннен асқан кезде тангенциалды бағытта мойынның пайда болуы. Осы сәтте мына шарт сәйкес келеді:

$$\frac{dP}{d\varepsilon_i} = 0 \quad (1)$$

2) Толық жүктеме L белгілі бір максималды мәннен асқан кезде осьтік бағытта мойынның пайда болуы. Осы сәтте мына шарт сәйкес келеді:

$$\frac{dL}{d\varepsilon_i} = 0 \quad (2)$$

Құбырдың осьтік деформациясы жоқ екенін ескере отырып, (1) жағдайын қарастырыңыз [1,6].

Біз (3), (4) және (5) өрнектерді қолданамыз, бұл қабық серпімді кернеу аймағында жұмыс істейді, яғни .пластикалық деформациялар нөлге тең және.

$$p = \frac{(\sigma_{1c} \delta_{oc} e^{-\varepsilon_{1pc}} + \sigma_n \delta_{on} e^{-\varepsilon_{1pn}} \sin^2 \alpha) \cdot (\delta_{oc} e^{\varepsilon_{3pc}} + \delta_{on} e^{\varepsilon_{3pn}})}{r_0 e^{\varepsilon_{1pc}} (\delta_{oc} e^{-\varepsilon_{1pc}} + \delta_{on} e^{-\varepsilon_{1pn}})} \quad (3)$$

$$\sigma_{1c} = \frac{\sigma_{ic}}{\sqrt{1-k+k^2}}; \quad \varepsilon_{ipc} = \frac{2\varepsilon_{1pc}}{2-k} \sqrt{1-k+k^2};$$

$$\sigma_{1c} = A_c \left(\frac{2\varepsilon_{1pc}}{2-k} \right)^{m_c} (1-k+k^2)^{\frac{m_c-1}{2}}; \quad (4)$$

$$\varepsilon_{2pc} = \frac{2k-1}{2-k} \varepsilon_{1pc}; \quad \varepsilon_{3pc} = -\frac{1+k}{2-k} \varepsilon_{1pc}$$

Остік созылу жағдайында жұмыс істейтін орамдағы сым материалы:

$$\sigma_{1n} = \sigma_{in}; \quad \varepsilon_{1pn} = \varepsilon_{ipn}; \quad \varepsilon_{2pn} = \varepsilon_{3pn} = -0,5\varepsilon_{1pn} \quad (5)$$

Содан кейін алдын-ала кернеулі қабықтағы қысым өрнегі пайда болады:

$$P = \frac{\left(\frac{\varepsilon_{1ec} E_c}{1-\mu k} \delta_{oc} e^{-\varepsilon_{1ec}} + \sigma_n \frac{\delta_{on}^2}{a} e^{-\varepsilon_{1ec}} \sin^2 \alpha \right) \left(\delta_{oc} e^{\frac{1+k}{2-k} \varepsilon_{1ec}} + \delta_{on} e^{\frac{1}{2} \varepsilon_{1en}} \right)}{R_0 e^{\varepsilon_{1ec}} (\delta_{oc} e^{-\varepsilon_{1ec}} + \delta_{on} e^{-\varepsilon_{1en}})} \quad (6)$$

Экстремумның (6) шарты-нөлге тең туынды алмастыру $\frac{dP}{d\varepsilon_1} = 0$

(6) в (1) және болжамды ескере отырып, туындыны ашу $\frac{dk}{d\varepsilon_1} = 0$,

тиісті түрлендірулер жүргізу және жұмыс нәтижелеріне сүйене отырып [11], біз экстремум үшін қайталанатын қатынасты аламыз:

$$\varepsilon_1 = \frac{2-k}{3} m \quad (7)$$

Сонда шекті қысым тең болады:

$$P_{пред} = \frac{\left(\frac{(2-k)m_c E_c}{3(1-\mu k)} \delta_{oc} e^{-\frac{2-k}{3}m_c} + \sigma_n \frac{\delta_{on}^2}{a} e^{-\frac{2-k}{3}m_c} \sin^2 \alpha \right) \left(\delta_{oc} e^{-\frac{1+k}{3}m_c} + \delta_{on} e^{-\frac{2-k}{6}m_n} \right)}{R_0 e^{\frac{2-k}{3}m_c} \left(\delta_{oc} e^{-\frac{2-k}{3}m_c} + \delta_{on} e^{-\frac{2-k}{3}m_n} \right)} \quad (8)$$

R_0 – қабық радиусы;

a – орамды орау қадамы, мм;

m_c – материал константалары;

E_c – қабық материалының серпімділік модулі, МПа (кН / см²);

δ_{oc} , δ_{on} – қабық қабырғасының және ораманың келтірілген қалыңдығы, см;

k – кернеу күйінің параметрі (9) өрнегімен анықталады.

$$k = \frac{\left[A_c \left(\frac{2\varepsilon_{1p}}{2-k} \right)^{m_c} (1-k+k^2)^{\frac{m_c-1}{2}} \delta_{oc} e^{-\varepsilon_{1pc}} + \sigma_n \frac{\delta_{on}^2}{a} e^{-\varepsilon_{1pn}} \sin^2 \alpha \right] \left(\delta_{oc} e^{\frac{1+k}{1-k}\varepsilon_{1pc}} + \delta_{on} e^{-0.5\varepsilon_{1pn}} \right)}{2\delta_{oc} e^{\frac{1+k}{2-k}\varepsilon_{1pc}} A_c \left(\frac{2\varepsilon_{1pc}}{2-k} \right)^{m_c} (1-k+k^2)^{\frac{m_c-1}{2}} (\delta_{oc} e^{-\varepsilon_{1pc}} + \delta_{on} e^{-\varepsilon_{1pn}})} \quad (9)$$

ҚОРЫТЫНДЫ

Анықталған формуланы (8) талдау кезінде ораманың үзілуі немесе сымның қабықшаның өзі де бұзылуы мүмкін екенін көрсетеді. Қиратушы деформация ретінде ε_i^n немесе ε_i^c ең кіші шамасы алынып, қосымша деформацияны анықтау әдісі нақтырақ келесі жұмыстарда сипатталған [2, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17]

Сонымен қатар, осы жұмыста анықталған шекті қысым өрнегі мұнай және газ құбырларын, тік цилиндрлі болат резервуарларында және де қабық конструкторларында тасымалдау қасиеттерін артырудағы және эксплуатацияланып жатқан конструкцияларының беріктігін күшейтудегі, сейсмикалық көрсекіштерді жоғарлатудағы өз септігін тигізе келе, осы сала мамандарына, жобалаушыларға, құрылысшыларға, конструкторлық бюролармен университеттерде оқып жатқан келешек мамандарға қажеттілігі жоғары екені айқын.

ОДЕБИЕТТЕР

1. Беленя Е.И., Астряб С.М., Рамазанов Э.Б. Предварительно напряженные металлические листовые конструкции. – М.: Стройиздат: 1979. [Belenya E. I., Astriab S. M., Ramazanov E. B. Prestressed metal sheet structures. - Moscow: Stroyizdat: 1979.]
2. Ференчик П., Тохачек М. Предварительно напряженные стальные конструкции: перевод с немецкого. – М.: Стройиздат, 1979. [Ferenchik P., Tokhachek M. Prestressed steel structures: TRANS. from German M.: Stroyizdat, 1979.]
3. Остсемин А.А., Заварухин В.Ю. Прочность бандажированного нефтепровода при наклонной обмотке // Проблемы прочности. 1990: - № 11: - 100-105. [Ostsemin A. A., Zavarukhin V. Yu. Strength of the banded oil pipeline under inclined winding // Problems of strength. 1990: No. 11: - 100-105 P.]
4. Астряб С.М., Гусев Б.М. О работе предварительно напряженных цилиндрических оболочек под действием внутреннего давления // Химическое и нефтяное машиностроение. 1968: - № 11: - 64-68 [Astriab S. M., Gusev B. M. on the operation of prestressed cylindrical shells under the action of internal pressure // Chemical and petroleum engineering. 1968: - № 11: - 64-68 P.]
5. Андреев Л.В., Решетилова А.П., Рузин В.И. Влияние предварительного напряжения на величину предельного давления цилиндрической оболочки // Проблемы прочности. 1986: № 1: 86-91 [Andreev L. V., Reshetilova A. P., Ruzin V. I. Influence of pre-stress on the limit pressure of a cylindrical shell // Problems of strength. 1986: No. 1: 86-91 P.]
6. Смирнов А.И. Об эффективности бандажирования труб и цилиндрических сосудов // Пробл. прочности. 1983: - № 12: - 77-79 [Smirnov A. I. on the effectiveness of banding pipes and cylindrical vessels // Prob. of strength, 1983: - No. 12: - 77-79 P.]
7. Заварухин В.Ю., Остсемин А.А. К расчету предельного состояния бандажированных труб // Пробл. прочности. 1990: - № 1: - 76-81 [Zavarukhin V. Yu., Ostsemin A. A. On calculating the limit state of banded pipes // Prob. of strength 1990: - No. 1: - 76-81 P.]
8. Купрейшвили С.М. Механика разрушения вертикальных цилиндрических резервуаров // Промышленное и гражданское строительство. 2004: - № 5: - С. 40-42. [Kupreishvili S. M. mechanics of destruction of vertical cylindrical reservoirs // Industrial and civil construction. 2004: - № 5: - 40-42 P.]
9. Жанабай Н. Ж. ғылым кандидаты ғылыми дәрежесін алу үшін диссертациялық жұмыс, "Конструкциялық параметрлерді есепке ала отырып, алдын ала кернеулі цилиндрлік қабықшаның кернеулі күйін бағалау" 2007, Шымкент қ. [Zhangabay N. zh. dissertation for the degree of candidate of science, "Assessment of the stress state of a pre-stressed cylindrical shell taking into account design parameters" 2007, Shymkent.]
10. Антикайн, П.А. Металлы и расчет на прочность котлов и трубопроводов / П.А. Антикайн. - М.: Энергосервис, 2001: - 440 с. [Antikain, P.A. Metals and calculation for the strength of boilers and pipelines / P.A. Antikain. - M.: Energoservice, 2001: - 440 P.]
11. Заварухин В.Ю., Остсемин А.А. К расчету предельного состояния бандажированных труб // Проблема прочности. 1990: - № 1: - С. 76-81. [Zavarukhin V.Yu., Ostsemin A.A. On calculating the limit state of banded pipes // The problem of strength. 1990: - № 1: - 76-81 P.]
12. Остсемин А.А., Заварухин В.Ю. Прочность нефтепроводов с поверхностными дефектами // Проблема прочности. 1993: № 12: С. 51-59. [Ostsemin A. A., Zavarukhin V. Yu. Strength of oil pipelines with surface defects //The problem of strength. 1993: - № 12: - 51-59 P.]

13. Моношков А.Н., Лупин В.А., Кутепова В.И., Никулин Ю.Н. Оценка предельного давления в бандажированных трубах с осевыми нагрузками // Строительство трубопроводов. 1973: - № 2: - С. 10-12. [Monoshkov A. N., Lupin V. A., Kutepova V. I., Nikulin Yu. N. Estimation of limit pressure in banded pipes with axial loads // Construction of pipelines. 1973: - № 2: - 10-12 P.]
14. Жанабай Н.Ж. Оценка эффективности предварительно напряженных оболочек, нагруженных внутренним давлением // Наука и образование Южного Казахстана. 2007: - № 1 (60): - 150-152 [Zhangabay N. Zh. Evaluation of the efficiency of prestressed shells loaded with internal pressure // Science and education in southern Kazakhstan. 2007: - №1 (60): - 150-152 P.]
15. Айнабеков А.И., Сулейменов У.С., Жанабай Н.Ж., Айнабеков Б.А. Моделирование потери устойчивости тонкостенного трубопровода при аффинном соответствии модели и натуры // IV межд. научно-практ. конф. «Эффективные строительные конструкции: теория и практика». Пенза. 2005: - С. 122-125. [Ainabekov A. I., Suleimenov U. S., Zhangabay N. Zh., Ainabekov B. A. Modeling of stability loss of a thin-walled pipeline under affine correspondence of the model and nature. scientific and practical conference "Effective building structures: theory and practice". Penza. 2005: - 122-125 P.]
16. Айнабеков А.И., Сулейменов У.С., Жанабай Н.Ж., Укибаев М.К. Моделирование потери устойчивости корпуса магистрального трубопровода при сжатии в пределах упругости // Современные строительные материалы, технологии и методы проектирования // Мат. межд. научно-практ. конф., посв. 25-летию КазГАСА.–2015: - С. 147-151. [Ainabekov A. I., Suleimenov U. S., Zhangabay N. Zh., Ukibaev M. K. Modeling of stability loss of the trunk pipeline body under compression within the limits of elasticity // Modern construction materials, technologies and design methods // Mat. intl. scientific and practical Conf., dedicated to the 25th anniversary of Kazgas. 2015: - 147-151 P.]
17. Жанабай Н.Ж., Утелбаева А.Б., Салимов Ф.Р., Куандыкова Э.Т. Экономическая эффективность при строительстве предварительно напряженных газопроводов и нефтепроводов большого диаметра с учетом экономии материала из стали // Вестник «Атырауского государственного университета имени Х. Досмухамедова», Атырау, 2019: - № 1(53) - С.121-125. [Zhangabay N. Zh., Utelbayeva A. B., Salimov F. R., Kuandykova E. T. Economic efficiency in the construction of prestressed gas and oil pipelines of large diameter, taking into account the saving of steel material // Bulletin of Atyrau Kh.Dosmukhamedov state University ", Atyrau, 2019: - № 1(53) - 121-125 P.]