

УДК 691.17

Смирнов Д.С. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: Denis27111974@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Разработка методики оценки свойств и долговечности водонабухающей резины

Аннотация

Негативное развитие внешнеполитических отношений между Россией и Западом, принятие санкций в отношении ряда организаций и предприятий, привело к необходимости развития или увеличения объемов производства отдельных видов товаров и изделий, ранее импортируемых из-за рубежа. Так, на ЗАО «Кварт» освоено производство пакеров из водонабухающей резины, взамен импортируемых из США. Натурные испытания показали возможность их применения. Однако остается вопрос о сохранности свойств резины в течение длительного времени.

С этой целью было разработано оборудование и методика оценки степени и времени набухания резины, величины напряжений возникающих процессе набухания, а также способ прогнозирования сохранности упруго-эластичных свойств резины с использованием температурно-временной аналогии.

Ключевые слова: резина, водонабухающая резина, долговечность резины, упруго-эластичные свойства резины, напряжения в резине.

Сложившаяся в последнее время внешнеполитическая ситуация между Россией и Западом остро ставит вопрос импортозамещения [1]. В отдельных отраслях промышленности это требует серьезных вложений связанных с техническим переоснащением, в других затраты значительно ниже, но практически по всем видам импортозамещаемых товаров отмечается отсутствие адаптированной к Российским условиям нормативной базы регламентирующей качество продукции и методику её оценки. Данная проблема возникла и в нефтедобывающей отрасли. Одним из элементов конструкции при разработке нефтеносных месторождений являются пакера выполняемые из набухающей резины и располагаемые в стволе скважины с целью предотвращения попадания пластовых вод в нефтеносный слой [2-5]. Основными поставщиками данного вида продукции до недавнего времени являлись такие компании как: Tan International, Halliburton, Baker oil tools с долей рынка 30, 35 и 15 % соответственно. Сегодня производство пакеров осваивается на ЗАО «Кварт». В настоящей работе приводятся данные о способах оценки физико-механических свойств набухающей резины для пакеров и методике оценки их долговечности.

Методика определения периода сохранности упруго-эластичных свойств набухающей резины включает следующие этапы: изготовление образцов, определение периода набухания резины, определение сохранности упругих и эластичных свойств набухающей резины после снятия напряжения и прогнозирование сохранности упругих и эластичных свойств набухающей резины на период 15 лет.

Период набухания определяли путем водонасыщения образцов резины в специальных формах с перфорацией (рис. 1) с последующим периодическим контролем размера образцов в первую неделю с периодичностью 1 сутки.

После достижения образцом максимального объема и завершения процесса набухания определили величину приращения объема образца. Результаты приведены в табл. 1. Период с момента начала испытания до момента, когда образец перестал увеличиваться в размерах, считается временем набухания.

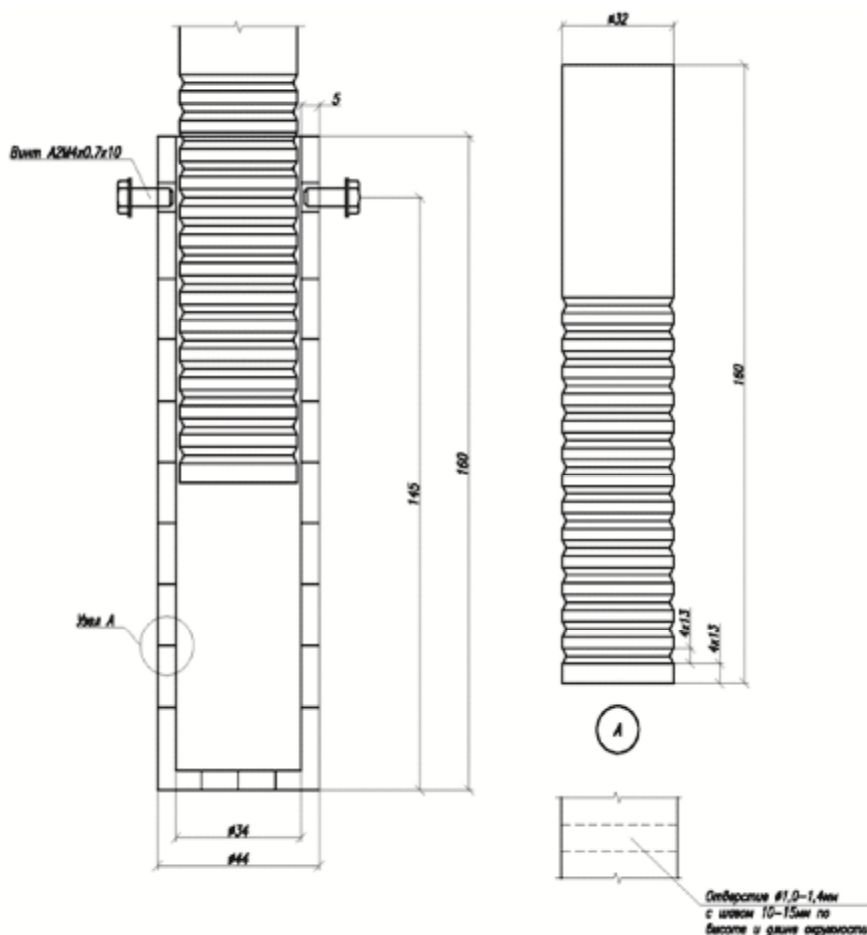


Рис. 1. Формы для определения набухания резины

Таблица 1

Результаты испытания набухания резины

Контролируемые параметры	Время набухания, сутки												
	До исп.	1	2	3	4	5	8	17	20	25	27	29	30
Расстояние от кромки формы до верхней плоскости пуансона, мм	43,4	47	47,7	48,8	49,7	50,6	52,6	58,7	60,7	63,1	65,1	66,6	67,2
Приращение высоты, мм	0	3,6	4,3	5,4	6,3	7,2	9,2	15,3	17,3	19,7	21,7	23,2	23,8
Высота образца, мм	37,5	41,1	41,8	42,9	43,8	44,7	46,7	52,8	54,8	57,2	59,2	60,7	61,3

Объем пакера (рис. 2) до и после набухания можно рассчитать по формулам 1 и 2. При этом предполагаем, что высота пакера h величина постоянная и в процессе набухания не меняется:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \cdot h - \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot h, \tag{1}$$

$$V_2 = \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} \cdot h - \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot h, \tag{2}$$

где, d_1 – внутренний диаметр пакера, а D_1 и D_2 – внешние диаметры до и после набухания. Внутренний диаметр пакера d_1 соответствует диаметру трубы, а внешний диаметр D_2 при набухании ограничивается диаметром ствола скважины.

Таким образом, объем пакера, в рабочем (проектном) положении, увеличился в K_n раза:

$$\frac{V_2}{V_1} = K_n. \quad (3)$$

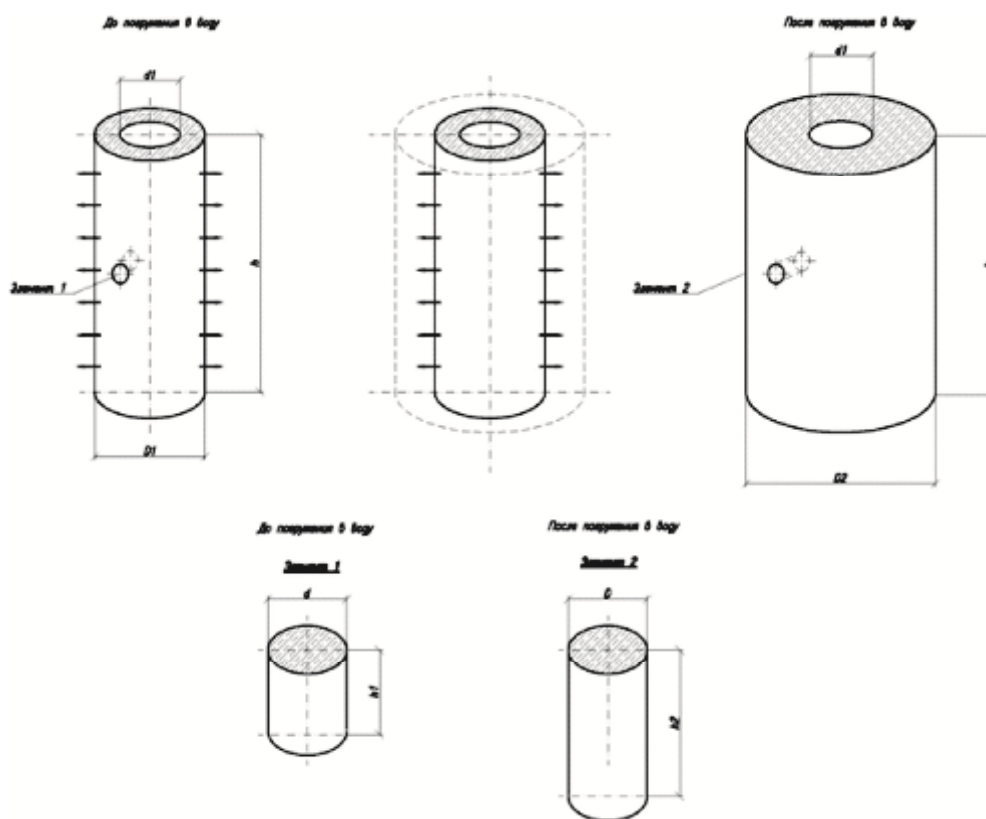


Рис. 2. Деформация образца резины при набухании

Образец (рис. 2) для испытаний имеет диаметр $d = 32$ мм и высоту $h_1 = 37,5$ мм, т.е. площадь образца до испытания $S_1 = 803,8$ мм², а объем $V_1' = 30144$ мм³.

$$V_1' = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h_1 = S_1 \cdot h_1. \quad (4)$$

Учитывая, что объем пакера после набухания увеличился в K_n раза, значит, объем образца после набухания V_2' должен составить $V_2' = K_n \cdot 30144$ мм³. Диаметр формы $D_2 = 34$ мм, следовательно после набухания площадь образца S_2 составит 907,5 мм²:

$$V_2' = \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} \cdot h_2 = S_2 \cdot h_2. \quad (5)$$

Необходимо фиксировать высоту образца после набухания таким образом, чтобы приращение объема образца соответствовало приращению объема пакера:

$$K_n \cdot V_1' = V_2', \quad (6)$$

$$K_n \cdot S_1 \cdot h_1 = S_2 \cdot h_2, \quad (7)$$

$$h_2 = \frac{S_1 \cdot h_1 \cdot K_n}{S_2}. \quad (8)$$

Результаты расчетов представлены в табл. 2.

На следующем этапе планируется произвести прогнозирование сохранности упругих и эластичных свойств набухающей резины на период 15 лет. Аналогичные работы ранее уже выполнялись в КГАСУ кафедрой строительных материалов, тогда определялась долговечность уплотнительных прокладок предназначенных для тоннелей Казанского метрополитена [6, 7]. Оценивалось изменение упругого отпора уплотнительных прокладок при их ускоренном старении, с прогнозом на 50 лет. Результатом работы позволили заменить дорогостоящие уплотнительные прокладок фирмы «Lovat» на отечественные, производство которых освоили на ЗАО «Кварт».

Таблица 2

Изменение размеров образцов резины и пакеров при набухании

Диаметры пакера до испытаний		Внешний диаметр пакера после испытаний D_2 , мм	Площадь поперечного сечения пакера		Увеличение объема	Диаметры образца		Высота образца	
Внешний D_1 , мм	Внутренний d_1 , мм		До испытаний, S_1 , мм ²	После испытаний, S_2 , мм ²		До испытаний d , мм	После испытаний D , мм	До испытаний, h_1 , мм	После испытаний h_2 , мм
114,3	102	124	2088,5	3903,02	1,869	32	34	37,5	62,1
133	114	144	3684,0	6075,9	1,649	32	34	37,5	54,8
146	114	156	6531,2	8901,9	1,363	32	34	37,5	45,3
206	146	216	16579,2	19891,9	1,2	32	34	37,5	39,85
206	168	216	11156,4	14469,12	1,297	32	34	37,5	43,1

Герметичность, которую должен обеспечивать пакер в течении длительного времени, будет нарушаться тогда, когда давление воды P достигнет давления σ пакера на трубу (рис. 3). Подстановка P вместо σ в соотношение (13) дает уравнение для определения долговечности пакера. При этом могут быть учтены и изменения температуры пакера и другие эксплуатационные условия:

$$P_p = \frac{F}{S_1}, \quad (9)$$

где P_p – давление воды при испытаниях:

$$F = P_p \cdot S_1, \quad (10)$$

где S_1 – площадь основания образца после набухания:

$$\sigma = K_{тр} \cdot F \cdot S_2, \quad (11)$$

где S_2 – площадь боковой поверхности образца после набухания, σ – боковое давление, $K_{тр}$ – коэффициент трения:

$$\sigma > P_\phi \cdot K_3, \quad (12)$$

где P_ϕ – давление воды на пакер (фактическое давление) при эксплуатации.

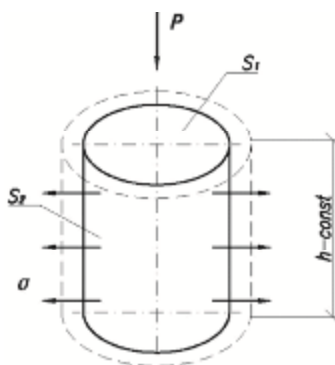


Рис. 3. Схема распределения напряжений в образце резины

Предлагаемая модель расчета долговечности резины для пакера:

$$\varepsilon = \varepsilon^{elast} + \varepsilon^{cr}, \quad (13)$$

где

$$\varepsilon^{elast} = \frac{\sigma}{E}, \quad (14)$$

а

$$\varepsilon^{cr} = \int_0^t \frac{C \cdot \sigma(t)}{(t-\tau)^\alpha} d\tau. \quad (15)$$

Эксперименты позволят найти регрессионные функции, описывающие поведение полимерного материала.

Согласно принципу температурно-временной аналогии [8], температура и время деформирования взаимосвязаны и взаимно эквивалентны, а деформация определяется по следующей формуле:

$$\varepsilon^{cr} = \int_0^{t^*} \frac{C(T_0) \cdot \sigma(\tau^*)}{(t^* - \tau^*)^\alpha} d\tau^*, \quad (16)$$

$$t^* = \frac{t}{a_t}. \quad (17)$$

Для аппроксимации коэффициента температурно-временной редукции была выбрана зависимость в виде:

$$\ln(a_t) = \frac{a_1 \cdot (T - T_0)}{a_2 + (T - T_0)}. \quad (18)$$

По модели, построенной по результатам проведенных экспериментов, можно прогнозировать поведение полимера при различных температурах и длительном времени эксплуатации.

Список библиографических ссылок

1. Татарстан будет продвигать импортозамещающий пакер. // Информационное агентство «Девон». URL: http://iadevon.ru/news/oilservice/tatarstan_budet_prodvigat_importozameshchayushchiy_paker-2121/ (дата обращения: 23.09.2015).
2. Абдулов М.А. Пакеры. – М.: Недра, 2001. – 159 с.
3. Kube O. (Zeon Europe GmbH), Nakajima K., Sandland N., Rau P., Files E.. Second Generation Low HNRB Gradec. IRC 2000. – Helsinki, 12-15.06, 2000.
4. Sparling D.D. Water invasion control in producing wells. Application polyacrylamide // Word Oil, 1984, № 1. – P. 29-33.
5. Литвинов В.М. Упругое деформирование уплотнителя // Сборник научных трудов СевКавГТУ. Серия «Нефть и газ». Вып. 2. – Ставрополь: СевКавГТУ, 1999. – С. 192-202.
6. Рахимов Р.З., Смирнов Д.С., Хайретдинов М.Г., Рахимов М.М. Резиновые уплотнительные прокладки железобетонных блоков обделки тоннеля метрополитена // Проблемы развития транспортных и инженерных коммуникаций. Научно-технический альманах. – М.: ТИМР, 2001, № 2-3. – С. 29-35.
7. Смирнов Д.С., Рахимов Р.З., Габидуллин М.Г., Каюмов Р.А., Стоянов О.В. Испытания и прогнозная оценка долговечности уплотнительной резины герметизирующих стыков блоков обделки метро // Вестник Казанского технологического университета. – Казань, 2014, Т. 17, № 15.
8. Уржумцев Ю.С. Прогнозирование длительного сопротивления полимерных материалов. – М., 1982. – 222 с.

Smirnov D.S. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: Denis27111974@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Development of methods for the assessment of properties and durability of water-swellable rubber

Resume

Because of the current foreign policy situation between Russia and the West there is the need to replace some of the imported goods. Before you make such products you should be convinced of their quality. This requires research and development. The aim of this work is to study the properties and characteristics of the new product or material, to ensure the product quality. To do this it is necessary to compare the properties and characteristics of the new product with the properties of the replaced products. In this paper considered the method of estimating the basic characteristics of rubber of packer, to oil wells. They are intended to

retention of reservoir water from getting into the oil-bearing layer. Manufacturing of such products mastered at JSC «Quart».

The specialists of JSC «Quart» and employees of KSUAE developed unique equipment. It is intended to assess the degree of swelling rubber and determine the stresses arising in the course of swelling rubber. Conducted an assessment of the extent and time of the swelling rubber. Installed the degree of expansion of rubber in packer. Using temperature-time analogy developed a method for predicting changes in the elastic-elastic properties of rubber for the period of 15 years. The purpose of the application of the developed method is a guarantee of the well safety for a long time.

Keywords: rubber, water-swellaable rubber, durable rubber, elastic-elastic properties of rubber, tension in the rubber.

Reference list

1. «Tatarstan will promote import-substituting packer» // Information Agency «Devon». URL: http://iadevon.ru/news/oilservice/tatarstan_budet_prodvigat_importozameshchayushchiy_paker-2121/ (reference date: 23.09.2015).
2. Abdulov A.M. Packers. – M.: Nedra, 2001. – 159 p.
3. Kube O. (Zeon Europe GmbH), Nakajima K., Sandland N., Rau P., Files E. Second Generation Low HNRB Gradec. IRC 2000. – Helsinki. Finland, 12-15.06, 2000.
4. Sparling D.D. Water invasion control in producing wells. Application polyacrylamide. // Word Oil, 1984, № 1. – P. 29-33.
5. Litvinov V.M. Elastic deformation of the seal // Proceedings of SevKavGTU. A series of «Oil and gas». Vol. 2. – Stavropol: Sevkavgtu, 1999. – P. 192-202.
6. Rakhimov R.Z., Smirnov D.S., Khairtdinov M.G., Rakhimov M.M. Rubber gasket reinforced concrete blocks lining the subway tunnel // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. Kazan Scientifically-technical anthology. – M.: TIMRA, 2001, № 2-3. – P. 29-35.
7. Smirnov D.S., Rakhimov R.Z., Gabidoullin M.G., Kayumov R.A., Stoyanov O.V. Testing and predictive assessment of the durability of the sealing rubber sealing joints of the lining blocks metro station // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. – Kazan, 2014, Vol. 17, № 15.
8. Urzhumtsev Yu.S. Prediction of long resistance of polymeric materials. – M., 1982. – 222 p.