



УДК 622.242.4:678.067.2

ВЫБОР РАЙЗЕРНОЙ НЕФТЕПРОВОДНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ В УСЛОВИЯХ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА

SELECTION OF A RISER OIL PIPELINE SYSTEM FOR OPERATION IN THE ARCTIC SHELF

Сальников Александр Викторович

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры проектирования
и эксплуатации магистральных газонефтепроводов,
Ухтинский государственный технический университет
ugtusovet@yandex.ru

Харитонов Илья Викторович

студент кафедры разработки и эксплуатации
нефтяных и газовых месторождений,
Ухтинский государственный технический университет
kharitonof.ilya@gmail.com

Аннотация. Данная статья посвящена рассмотрению метода
оценки надежности райзерных систем.

Ключевые слова: райзерные системы, шельф, морские
платформы, нагрузки.

Salnikov Alexandr Viktorovich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of Design and Operation
of Main Gas and Oil Pipelines,
Ukhta State Technical University
ugtusovet@yandex.ru

Kharitonof Ilya Viktorovich

Student of Development and Operation
of Oil and Gas fields,
Ukhta State Technical University
kharitonof.ilya@gmail.com

Annotation. This article is devoted to the
method of assessing the reliability of riser
systems.

Keywords: riser system, shelf, offshore plat-
forms, loads.

Актуальность оценки надежности райзерных систем, эксплуатируемых в осложненных условиях арктического шельфа, обусловлена тенденцией к переносу добычи углеводородов в Арктику. Райзеры являются связующим звеном между основным оборудованием, расположенным на морской платформе, и морским трубопроводом, и нарушение их герметичности неизбежно приводит к остановке перекачки.

Основными нагрузками на райзер в условиях арктического шельфа являются:

- давление на стенку райзера, вызванное суммарным действием внутреннего давления перекачиваемой среды p_i и наружным гидростатическим давлением морской воды p_e ;
- поперечная нагрузка, порождаемая стационарными морскими течениями, скорость и направление которых стратифицировано по глубине q_c ;
- поперечная нагрузка, порождаемая волновым движением частиц жидкости q_w ;
- температурные нагрузки, вызванные разностью температуры транспортируемой среды в начальной и конечной точках райзера q_T ;
- силы тяжести всех элементов райзера q_G ;
- силы поддержания (силы Архимеда) всех элементов райзера q_A ;
- реакции связей в узлах присоединения райзера к морскому трубопроводу и оборудованию платформы R_i .

В связи с большими нагрузками, действующими на райзер во время эксплуатации, необходимо проводить оценку надежности райзерных систем на способность выдерживать эти нагрузки.

Ошибочная оценка тех или иных факторов, влияющих на конструктивную целостность райзерных систем, может привести к техногенной катастрофе, поэтому необходимо, используя полученные при исследованиях данные, производить расчеты всех вышеперечисленных нагрузок.

На сегодняшний день предложено три конструкции райзерных систем, отличающихся использованными для их постройки материалами, которые представлены на рисунке 1.

Основной недостаток стальных райзеров – большая масса. Данный недостаток предполагает большие риски при эксплуатации. Для того, чтобы данная конструкция выдерживала все действующие на нее нагрузки необходимо, использование большого количества стали, что экономически не рентабельно. Так же величины распределения изгибающего момента и осевых сил по длине стального райзера, приведенные на рисунке 2 указывают на рациональное использование материала и на растягивающую осевую силу по всей длине райзера.



Рисунок 1 – Типы райзерных систем: ПКМ – полимерно-композитный материал

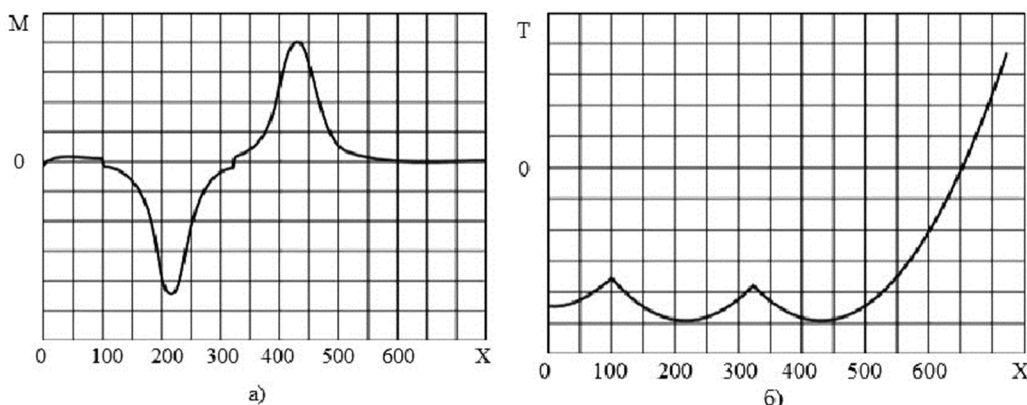


Рисунок 2 – Распределение внутренних усилий по длине стального райзера: а) распределение изгибающих моментов; б) распределение осевых сил

Использование титана в качестве материала для создания райзерных систем привело к значительному снижению величин изгибающих моментов, поскольку плотность титана ниже плотности стали, что позволяет снизить значения осевых сил, действующих на райзер. На рисунке 3 представлена упругая линия райзера из титанового сплава.

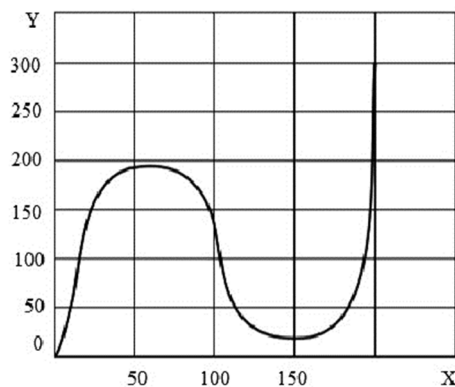


Рисунок 3 – Упругая линия райзера из титанового сплава

Райзерная система из полимерно-композитных материалов из-за пластичных свойств используемого материала обеспечивает наименьшие значения изгибающих моментов и осевых сил.

Рассмотрим методику оценки райзерных систем на основе определения вертикальной погонной нагрузки по длине райзера, которая представлена следующей зависимостью:

$$q(x) = (q_{G \text{ с.т.}} + q_{G \text{ т.с.}} + q_{G \text{ у.т.}} + q_{G \text{ б.п.}} - q_A - q_{A \text{ б.п.}})(L - x),$$

где $q_{G \text{ с.т.}} = \frac{\pi(D_H^2 - D_B^2)}{4} \cdot \rho_{\text{ПКМ}} \cdot g$ – интенсивность погонной силы тяжести трубы райзера, Н/м²;

$q_{G \text{ т.с.}} = \frac{\pi \cdot D_B^2}{4} \cdot \rho_{\text{т.с.}} \cdot g$ – интенсивность погонной силы тяжести транспортируемой среды, Н/м²;

$q_{G \text{ у.т.}} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i g}{L}$ интенсивность эффективной погонной силы тяжести узлов соединения секций трубы райзера, Н/м²;



$q_{G \text{ б.п.}} = \frac{\sum_{j=1}^n m_j g}{L}$ интенсивность эффективной погонной силы тяжести блоков плавучести, установленных на трубе райзера, Н/м²;

$q_A = \rho_w \cdot g \cdot \frac{\pi \cdot D_H^2}{4}$ интенсивность погонной силы поддержания трубы райзера, Н/м²;

$q_{A \text{ б.п.}} = \frac{\sum_{j=1}^n F_j^A}{L}$ интенсивность эффективной погонной силы поддержания блоков плавучести, установленных на трубе райзера, Н/м²;

D_H – наружный диаметр секции трубы райзера, мм;

D_B – внутренний диаметр секции трубы райзера, мм;

$\rho_{ПКМ}$ – плотность материала секции трубы райзера, кг/м³;

$\rho_{т.с.}$ – плотность транспортируемой среды, кг/м³;

ρ_w – плотность морской воды, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

m_i – масса i -го узла соединения секций трубы райзера, кг;

m_j – масса j -го блока плавучести, установленного на трубе райзера, кг;

F_j^A – сила поддержания (сила Архимеда) j -го блока плавучести, установленного на трубе райзера, Н;

m – число блоков плавучести, установленных на трубе райзера;

n – число узлов соединения секций трубы райзера;

L – длина трубы райзера, м.

При помощи уравнения Бернулли можно описать распределение внутреннего давления p_i по длине райзера:

$$p_{i \max} + \rho_{т.с.} \cdot g \cdot (L - x) + \frac{\rho_{т.с.} \cdot v^2}{2} = \text{const},$$

где $p_{i \max}$ – максимальное статическое давление перекачиваемой среды, Па;

$\frac{\rho_{т.с.} \cdot v^2}{2}$ – скоростной напор (динамическое давление) перекачиваемой среды, Па.

Распределение внешнего давления p_B , Па, по длине райзера определяется как:

$$p_B = \rho_w \cdot g \cdot x,$$

из уравнения следует, что при осушении райзера в узле присоединения к морскому трубопроводу при $x = L$ можно достичь максимального значения внутреннего давления.

Данная методика позволяет определить основные нагрузки, прилагаемые к райзерной системе во время ее эксплуатации. Однако для полной оценки надежности райзерных систем с учетом всех влияющих факторов данная методика требует модификации, позволяющей учитывать коррозионное воздействие на райзер в зоне его контакта с морским воздухом, зоне полного смачивания морской водой и особенно – в зоне переменного смачивания, а также учитывать ледовые воздействия на райзер, неизбежные при его эксплуатации в условиях арктического шельфа.

Литература:

1. Тимофеев О.Я. Сравнительное определение оптимальной статической упругой линии добычного райзера двойной волновой формы, выполненного из различных конструкционных материалов // Труды Крыловского Государственного Научного Центра. – 2012. – № 66. – С. 5–12.
2. Дмитриева А.М. Добычные райзеры из полимерных композиционных материалов / А.М. Дмитриева, Л.В. Паршина, Б.А. Ярцев // Труды Крыловского Государственного Научного Центра. – 2011. – № 58. – С. 91–112.
3. Папуша А.Н. Проектные решения для морских нефтегазовых технологий освоения углеводородных месторождений в Арктике // Вестник Мурманского Государственного Университета. – 2010. – № 4-1. – С. 764–799.

References:

1. Timofeev O.Ya. Comparative determination of the optimal static elastic line of a double-wave mining riser made of various structural materials // Proceedings of the Krylovsky State Scientific Center. – 2012. – № 66. – P. 5–12.
2. Dmitriev A.M. Production risers made of composite materials / A.M. Dmitriev, L.V. Parshina, B.A. Yartsev // Proceedings of the Krylov State Scientific Center. – 2011. – № 58. – P. 91–112.
3. Papusha A.N. Design solutions for offshore oil and gas technologies for developing hydrocarbon fields in the Arctic // Bulletin of the Murmansk State University. – 2010. – № 4-1. – P. 764–799.