

**Д.У. Сугиров*, М.Ж. Нигметов, Г.Г. Байсарова,
К.Ш. Ержанов, Н.А. Жайылхан**

Каспийский университет технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова,
Актау, Казахстан

Информация об авторах:

Сугиров Джиенбек Умирзаевич – доктор технических наук, профессор, Каспийский университет технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова, Актау, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-8109-1658>, e-mail: sugirov-56@mail.ru

Нигметов Мермурад Жалелович – ассоциированный профессор, Каспийский университет технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова, Актау, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-8763-4297>, e-mail: mermurad.nigmatov@yu.edu.kz

Байсарова Гульбану Гасанкулиевна – PhD, Каспийский университет технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова, Актау, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0001-9770-0473>, e-mail: gulbany.baisarova@yu.edu.kz

Ержанов Калый Шахмарданович – ассоциированный профессор, Каспийский университет технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова, Актау, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0003-3053-0232>, e-mail: kali.erzanov@yu.edu.kz

Жайылхан Нурадин Алиевич – ассоциированный профессор, Каспийский университет технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова, Актау, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0001-5072-833X>, e-mail: kali.erzanov@yu.edu.kz

*Автор корреспонденции: sugirov-56@mail.ru

СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СИСТЕМ ЗАЯКОРЕНИЯ ПЛАВУЧИХ БУРОВЫХ ПЛАТФОРМ

Аннотация. *Актуальность исследования состоит в важности обеспечения безотказной работы системы заякорения дорогостоящих плавучих сооружений. При любых внешних воздействиях система удержания должна обеспечить продолжение нормальной эксплуатации плавучего объекта. Это предложено достигнуть путем определения основных параметров данных систем статическими расчетами. Целью исследования является рассмотрение имеющихся подходов и методов расчета заякорения плавучих сооружений и получение параметров системы в статической постановке.*

Ключевые слова: *плавучее сооружение, системы заякорения, статический расчет, перемещение плавучего объекта, якорная система удержания.*

Введение

Сложность задачи расчета систем заякорения обуславливается тем, что в процессе проектирования морского плавучего сооружения и на этапе проектирования способа и места его эксплуатации необходимо определить состав системы его удержания (в частности, выбор количества, длин, натяжения и прочностных характеристик якорных связей), обеспечения плановой и рабочей (фактической) ориентации объекта в зависимости от характеристик самого плавучего сооружения, интенсивности ожидаемых природных воздействий, глубины моря и других влияющих параметров.

Актуальность исследования. Решение задачи выбора наилучших параметров систем заякорения плавучих сооружений может быть сформулирована,

как многокритериальная нелинейная задача оптимизации [1]. Такой подход к выбору параметров систем удержания в наиболее сложной постановке возможна с помощью методов нечеткой логики, позволяющей найти компромиссные, близкие к оптимальным, решения по критериям обеспечения безопасности, работоспособности или экономической целесообразности.

К сожалению, большинство факторов, которые влияют на устойчивость и точность позиционирования плавучих сооружений, являются плохо прогнозируемыми явлениями, часто носящими случайный скачкообразный характер [2]. Все это приводит к необходимости формирования новых или усовершенствованию существующих систем расчета заякорения плавучих сооружений с выявлением недостатков в их работе и последующей идентификацией характеристик объектов, которые подлежат возможной модернизации. В рамках данной работы ставятся следующие основные задачи: идентифицировать параметры, влияющие на работоспособность системы заякорения плавучего объекта; рассмотреть методы и определить наиболее подходящий, который может быть принят в качестве базового; сформулировать возможные критерии определения рационального режима системы удержания плавучего заякоренного сооружения в статическом режиме. Конечная цель статьи заключается в рассмотрении имеющихся методов расчета заякорения плавучих сооружений путем обзора научно-технических разработок и экспериментальных исследований в этой области с возможным получением результата в статической, а в перспективе – в динамической постановке в более общем случае. В качестве результата осуществлен расчет систем заякорения морского плавучего объекта в плоской постановке. Принято, что якорные связи являются гибкими, тяжелыми и нерастяжимыми нитями, провисающими по цепной линии. В соответствии с нормативом 1 расчетные схемы якорных закреплений представлены в виде одностороннего, либо двустороннего заякорения. Поиск наилучшего решения по расчетным параметрам системы заякорения предполагает обеспечение должного уровня безопасности функционирования сооружения в заданных статических условиях работы.

Материалы и методы

В качестве методологического подхода в данной работе использовано сочетание методов комплексного анализа сложных статических систем в расчетном первоначальном и фактическом рабочем состоянии системы заякорения с учетом обеспечения рационального и стационарного позиционирования рассматриваемого объекта. Согласно [4], стационарная система позиционирования – это система позиционирования плавучего сооружения, устанавливаемого на месторождении на весь период его эксплуатации. Под первоначальным состоянием системы заякорения принято состояние до прикладывания вышеперечисленных внешних воздействий, а под фактическим рабочим – состояние, когда на заякоренное сооружение будет действовать внешняя сила. Методологическую базу данной работы составляют нормативы и правила, а также рассмотренные основные результаты выполненных исследований ряда отечественных и зарубежных исследователей.

В соответствии с требованиями [3,5,6] методы, используемые при расчете сооружений на действие нагрузок, позволяют определять горизонтальные и вертикальные нагрузки на сооружения для принятого количества, калибра и длины связей, величины натяжения связей в первоначальном состоянии, с целью определения наибольших усилий в связях перемещения плавучих объектов. Расчет нагрузки, действующие на плавучие объекты, делается с учетом того, что усилия передаются с помощью якорных цепей или тросов на анкерные опоры (гравитационные железобетонные или бетонные якоря, свайные анкеры), а также на береговые сооружения (при необходимости).

Конструкция системы заякорения должна позволять изменять величину первоначального натяжения связей. Рациональный подход к определению схемы раскрепления плавучего объекта состоит в том, что она принимается по возможности наиболее простой конфигурации, с меньшим числом якорных связей. Также должно обеспечиваться равномерное распределение нагрузок между связями, расположенными по одному борту. При невозможности этого допускается считать, что нагрузки воспринимаются только двумя наиболее натянутыми связями данного борта.

Подобный подход применяется и для специфических сооружений. В частности, стандарт [3] распространяется на раскрепляемые в акваториях с помощью гибких якорных связей плавучих гидротехнические сооружения, относящиеся к объектам строительства.

В более общем, динамическом расчете нагрузки на анкерные опоры, усилия в связях и перемещения плавучих сооружений необходимо определять с учетом динамики действия волн. При динамических расчетах плавучих заякоренных сооружений производится: определение свободных колебаний сооружения (на тихой воде), проверка динамической работы сооружения на резонанс, определение вынужденных колебаний сооружения, определение нагрузок на анкерные опоры, усилий в связях и др. элементах конструкции с учетом динамического характера воздействия. Такие расчеты в зависимости от конструктивных особенностей, технологических и прочих условий можно выполнить с допустимым уровнем точности в специализированных программных комплексах.

Результаты и обсуждение

Расчет системы заякорения предложено выполнить в плоской постановке (рисунок 1), то есть с длинными цепями, без подвесных грузов или плавучестей, с допущениями, указанными выше. Перемещение заякоренного плавучего объекта зависят от величин действующих внешних нагрузок, результирующая горизонтальная составляющая, которой обозначена R и может быть рассчитана. Тогда с учетом направления ее действия якорные связи цепи $\{A_1 B_1 B_2\}$ будут считаться передними, а $\{\bar{A}_1 \bar{B}_1 \bar{B}_2\}$ – тыловыми. В расчетном отношении будем различать первоначальное (плановое, обозначено на рисунке 1 сплошными линиями) и рабочее (фактическое эксплуатационное, обозначено на рисунке 1 пунктирными линиями) состояния системы заякорения с учетом силовых воздействий в виде волновых, ветровых нагрузок и воздействий от течения [7,8]. В

результате действия нагрузки R плавучий объект смещается на величину u , что приводит к нарушению стационарности и точности позиционирования плавучего сооружения.

В качестве исходных данных для статического расчета плавучего сооружения приняты:

H_1 – величина распора в цепи в первоначальном состоянии, кН;

q, \bar{q} – вес единицы длины соответственно передней и тыловой цепей с учетом взвешивания в воде, кН/м. В большинстве случаев это величина зависит от характеристик и калибра цепи, и может быть установлена согласно стандарту;

$\mu, \bar{\mu}$ – вертикальная проекция свободных провесов соответственно передней и тыловой цепей, м.

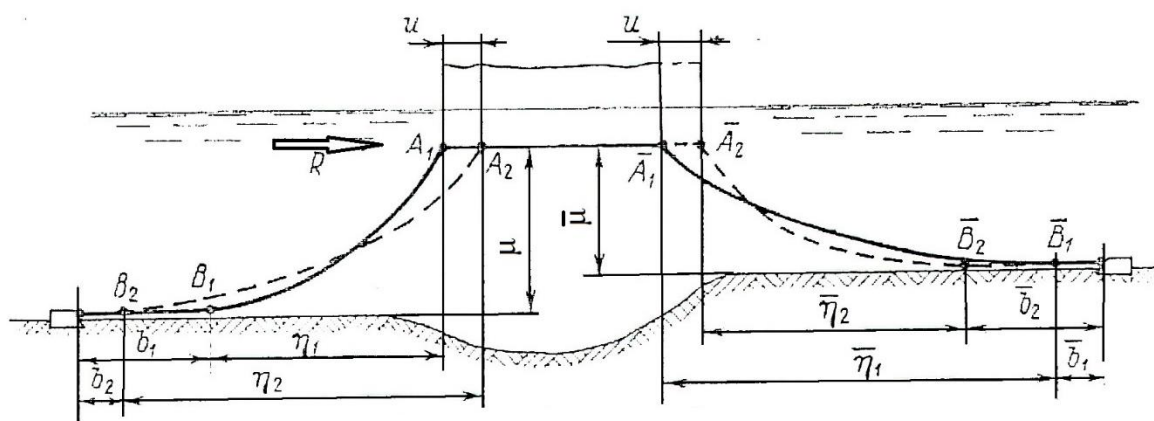


Рисунок 1 – Расчетная схема двустороннего несимметричного закорення плавучего сооружения на провисающих длинных цепях

В первоначальном состоянии статический расчет основных параметров при односторонней работе системы закорення плавучего объекта выполняется согласно 3, путем решения системы уравнений

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= \frac{H_1}{q}; & \eta_1 &= a_1 \operatorname{Arch} \left(1 + \frac{\mu}{a_1} \right); \\ S_1 &= a_1 \operatorname{sh} \frac{\eta_1}{a_1}; & F_1 &= q(a_1 + \mu), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где a_1 – параметр цепной линии, м; η_1 – величина горизонтальной проекции свободного провеса цепи, м; S_1 – длина свободного провеса цепи (на рисунке 1 соответствует длине линии A_1B_1), м; F_1 – полное усилие в цепи в ключевой точке A_1 , кН.

В рабочем состоянии системы закорення расчет основных геометрических и силовых характеристик осуществлен с учетом действия нагрузки R

$$\left. \begin{aligned} H_2 &= H_1 + R; & a_2 &= \frac{H_2}{q}; \\ \eta_2 &= a_2 \operatorname{Arch} \left(1 + \frac{\mu}{a_2} \right); & S_2 &= a_2 sh \frac{\eta_2}{a_2}; \\ F_2 &= q(a_2 + \mu); & u &= (S_1 - \eta_1) - (S_2 - \eta_2), \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где H_2 – величина распора в цепи в рабочем состоянии, кН; u – горизонтальное перемещение корпуса плавучего сооружения относительно первоначального состояния (рис. 1).

Следует заметить, что обозначения в формуле (2) аналогичны формуле (1), а для статического расчета тыловых якорных связей в формулах (1)-(2) используются те же обозначения, но с чертой; например, вместо S_1 следует использовать \bar{S}_1 .

Для оценки результирующей (суммарной) величины действующей внешней нагрузки R учтены поперечные горизонтальные составляющие нагрузки от действия ветра R_X , от действия течения R_T и амплитуда поперечной R_A горизонтальной нагрузки от действия волн на объект в наиболее неблагоприятном сочетании. В соответствии с усовершенствованными требованиями [3] значения нагрузок установлены следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} R_X &= 7.943 * 10^{-4} F_X w_X^2; & R_T &= 5.884 * 10^{-1} D_X v_X^2; \\ R_A &= k \left(\frac{T}{\lambda} \right) h D_X; & R &= \sum_{X,T,A} (R_X, R_T, R_A), \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где F_X – боковая надводная площадь парусности плавучего объекта, m^2 ; w_X – поперечная составляющая скорости ветра, действующая на плавучий объект, m/c ; D_X – боковая подводная площадь парусности плавучего объекта, m^2 ; v_X – поперечная составляющая скорости течения, действующая на плавучий объект, m/c , в ряде случаев для морских сооружений может быть принята $0 m/c$; $k \left(\frac{T}{\lambda} \right)$ – эмпирический коэффициент, зависящий от осадки плавучего сооружения T , m , и средней длины волн λ , m . Принимается в соответствии с данными 3; h – средняя расчетная высота волн, m .

Путем вычисления по формулам (1)-(3) получен ряд значений основных геометрических и силовых характеристик системы заякорения с длинными цепями при их односторонней работе для первоначального и рабочего состояния. Результаты сведены в таблицу 1 и в виде зависимостей приведены на рисунках 2 – 4.

Таблица 1 – Результаты статического расчета основных геометрических и силовых характеристик системы заякорения для первоначального состояния

Величина	Передняя цепь	Тыловая цепь
Параметр цепной линии a_1 , м	90,09	119,05
Горизонтальная проекция свободного провеса цепи η_1 , м	58,97	59,15
Длина свободного провеса цепи, S_1 , м	63,27	61,61
Полное усилие в цепи в клюзовой точке F_1 , кН	119,84	110,43

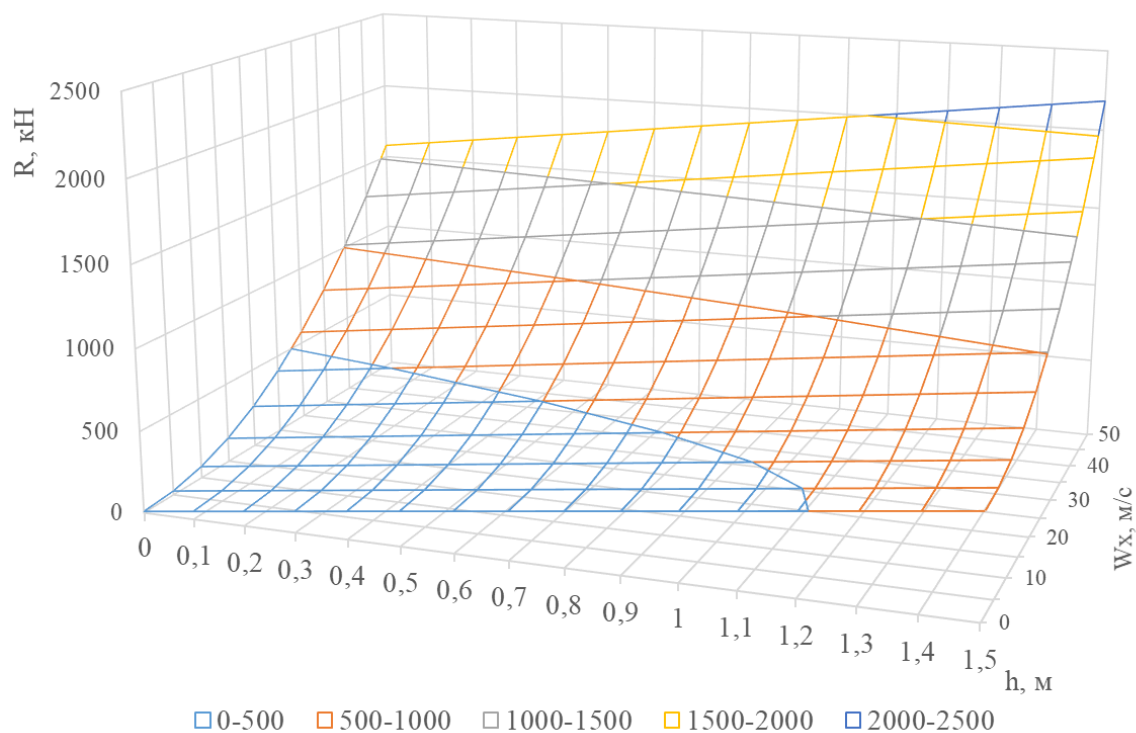


Рисунок 2 – Поверхность отклика результирующей внешней нагрузки R на плавучий док проекта 81260 от поперечной составляющей скорости ветра w_x и средней высоты волн h

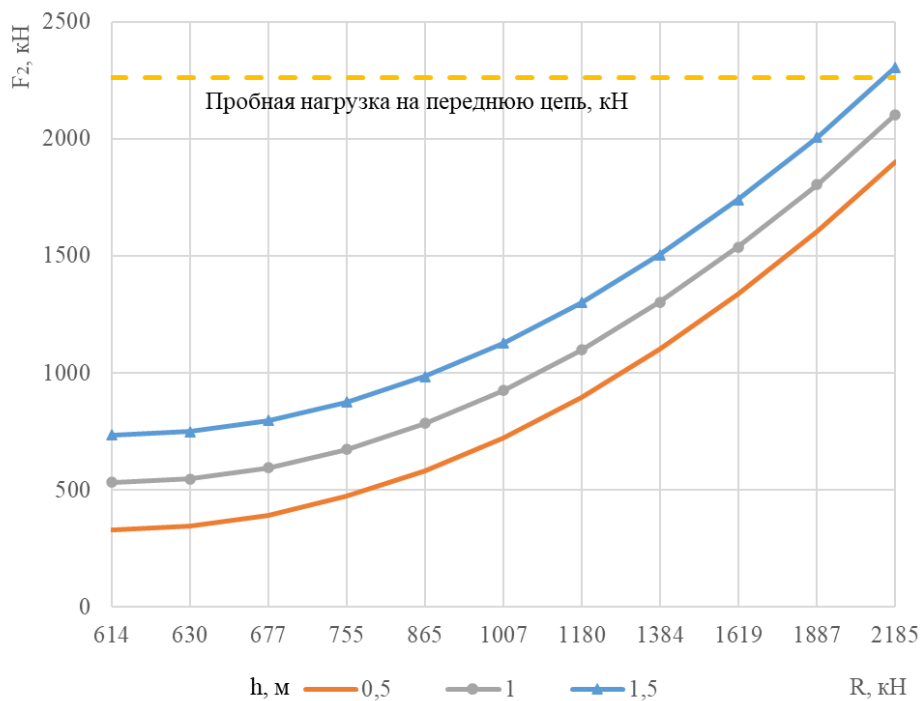


Рисунок 3 – Зависимость полного усилия в клюзовой точке передней цепи F_2 от внешней нагрузки R при различных средних высотах волн h для рабочего состояния системы заякорения

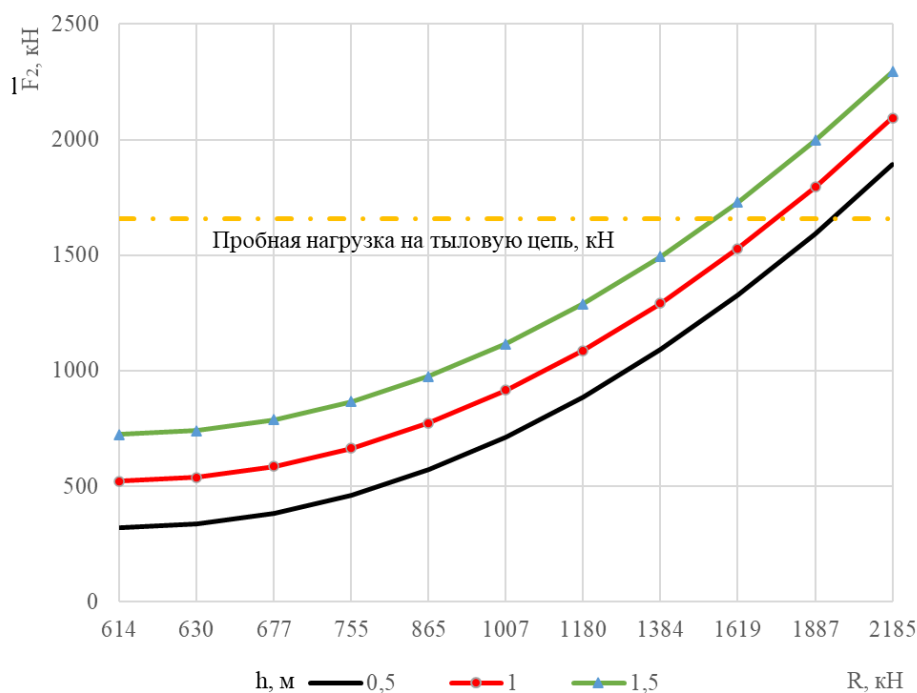


Рисунок 4 – Зависимость полного усилия в клюзовой точке тыловой цепи \overline{F}_2 от внешней нагрузки R при различных средних высотах волн h для рабочего состояния системы заякорения

Из полученных данных статического расчета плавучего сооружения при односторонней работе системы заякорения следует, что:

- результирующая внешняя нагрузка R, действующая на плавучее сооружение (на примере плавучего дока проекта 81260), наиболее сильно зависит от поперечной составляющей скорости ветра w_x . Поперечная горизонтальная нагрузка от действия волн и течения на объект оказывает существенно меньшее влияние (рис. 2). Продольный вариант воздействия нагрузки не рассматривался по причине того, что возникающие усилия значительно меньше, чем при поперечном воздействии;

- горизонтальное расчетное перемещение корпуса плавучего сооружения u в рабочем состоянии относительно первоначального составило до 3,83 м;

- полное усилие в клюзовой точке передней цепи F_2 при наиболее неблагоприятном сочетании внешней нагрузки R в большинстве случаев не превышает значения пробной нагрузки G для выбранной категории и калибра цепи (рис. 3);

- полное усилие в клюзовой точке тыловой цепи \overline{F}_2 при наиболее неблагоприятном сочетании внешней нагрузки R превышает значения пробной нагрузки G для выбранной категории и калибра цепи в 32 % случаев (рис. 4).

Значения основных геометрических и силовых характеристик для системы заякорения плавучего объекта в условиях двустороннего режима работы могут быть получены на основе методик, изложенных в [5,7] или [9].

Якорные системы удержания плавучих сооружений включают в себя гибкие якорные связи, которые соединяют объект с якорными опорами; якорные или анкерные опоры, которые находятся на дне водоема; якорные клюзы и устройства крепления, обеспечивающих связь между конструктивными элементами системы; грузы или плавучести, обеспечивающие заданные параметры работы якорных связей [3].

Достаточно часто в классических методах статического расчета этому не уделяется должного внимания, и донный массив условно рассматривается как однородное тело с «бесконечными» прочностными и упругими характеристиками. Современные подходы на базе программных комплексов позволяют избавиться от этих допущений. В частности, в 6 предложено донный породный массив, к которому осуществляется заякорение плавучего сооружения, рассматривать как однородное упругое тело с плоскостью изотропии, совпадающей параллельным слоям. Для уменьшения размерности задачи и возможности ее представления в формализуемом виде, предложено воспользоваться методом конечных элементов [11]. Для этого рассматриваемую систему плавучий объект – система заякорения – донный массив условно разбивают на множество элементов в виде прямоугольных параллелепипедов, которые контактируют между собой в узлах. Плавучие сооружения при расчетах считаются массивными телами, для которых методом конечных элементов установлены зависимости для трехмерных напряженных состояний. Для предложенной формы конечного элемента выбрано аппроксимирующую функцию исходя из условия, что все перемещения распределяются по линейным законам независимо друг от друга [7]. Показано, что динамика работы якорной системы удержания слабо зависит от величины массы якорных линий, входящих в ее состав.

Еще одной особенностью является тот факт, что такие системы работают на больших водных глубинах. Поэтому для решения сложной технической задачи позиционирования плавучих объектов используют специальные якоря с повышенной силой удержания и гибкие связи в виде цепей, канатов и составных линий [12]. Такие системы заякорения могут иметь длину до 1500 м и выше, а количество якорных линий может достигать шестнадцати. По этой причине их расчет крайне трудоемок и в классических руководствах и нормативах практически не встречается. В работе [13] рассмотрена кинематика удержания плавучих объектов с помощью составных линий. Приведенные модели систем являются достаточно сложными и учитывают такие факторы, как конструкция самого плавучего объекта, глубины моря в районе его расположения, изменения погодных условий, особенности рельефа морского дна и другие океанографические условия.

В условиях двустороннего режима работы системы заякорения оценочный статический расчет выполнен по известной методике, приведенной в [3]. Расчет показал, что разница полного усилия в клюзовой точке передней и тыловой цепей F_2 для одностороннего и двустороннего режима составляет 10 % и более. Например, при значении внешней нагрузки $R=300,0$ кН получено, что полное усилие при односторонней работе передней цепи $F_1 = 413,8$ кН, а мак-

симальное расчетное при двусторонней работе – $F_1 = 367,3$ кН, то есть минимальная разница составляет 11,1 %. Аналогично для тыловой цепи при односторонней работе $\bar{F}_2 = 404,4$ кН, а при двусторонней – $\bar{F}_2 = 82,8$ кН, разница – 79,5 % и более.

Таким образом, при выполнении статического расчета с целью выбора конфигурации системы удержания, категории и калибра якорной цепи вполне можно принимать решение на основании геометрических и силовых характеристик, полученных при односторонней работе системы.

Более высокую адекватность, чем в рассмотренном варианте, могут иметь модели, которые учитывают вертикальную составляющую действующих сил, например, в случае, когда рассматривается система заякорения с короткими цепями. Последняя используется в стесненных условиях эксплуатации плавучих объектов [11], статический расчет этого случая может быть выполнен отдельно, что не уменьшает значимости полученных в результате данного исследования результатов.

В реальных условиях переменных силовых воздействий волновых, ветровых нагрузок и воздействий от течения расчет основных геометрических и силовых характеристик системы заякорения в динамической постановке позволяет значительно повысить точность результатов, однако это требует сбора большого количества исходных данных, наличия специализированных программных продуктов и предполагает большой объем вычислений.

Заключение

В работе показано, что максимальные полные усилия в цепи наблюдаются в клюзовой точке и могут быть определены статическим расчетом системы заякорения в плоской постановке для варианта с длинными цепями для рабочего состояния системы в условиях ее односторонней работы. Для двусторонней работы системы заякорения установлено, что полные усилия в цепи будут меньшими на 10% (и более), то есть с точки зрения установления прочностных характеристик якорных связей односторонняя схема предпочтительнее.

На примере плавучего дока проекта 81260 установлено, что результирующая действующая внешняя нагрузка R наиболее сильно зависит от поперечной составляющей скорости ветра w_x . Тем самым подтверждается вывод про необходимость уменьшения подветренной поверхности сооружения при его проектировании и постановке в рабочее состояние с целью рационализации параметров и удешевления системы его удержания. Продольное воздействие внешней нагрузки в расчетах не рассматривалось, так как возникающие усилия значительно меньше, чем при поперечном варианте.

Расчетное горизонтальное перемещение u рассматриваемого дока проекта 81260 в рабочем состоянии относительно первоначального не превысило 3,83 м. Для доков данного типа такое перемещение является допустимым, однако для других типов плавучих объектов (например, буровых платформ) такая погрешность позиционирования в рабочем состоянии может быть неприемлемой.

Статический расчет системы заякорения показал, что полное усилие в клюзовой точке цепей при наиболее неблагоприятном сочетании внешней

нагрузки R в ряде случаев может превышать значения пробной нагрузки G для выбранной категории и калибра цепи. Это может привести к снижению уровня безопасности функционирования сооружения в заданных рабочих условиях. В частности, для дока проекта 81260 рекомендовано изменить предварительно выбранный 66 калибр цепи на 70.

Результаты, полученные в статье, могут быть полезны для использования специалистам в сфере эксплуатации плавучих сооружений, научным и педагогическим работникам, ориентированным на разработку и мониторинг якорных систем удержания. Практическое применение полученных решений для идентификации параметров системы заякорения предполагает обеспечение должного уровня безопасности функционирования плавучего сооружения в заданных рабочих статических состояниях их работы.

Литература:

1. *Большев А.С., Фролов С.А., Шонина Е.В. Оптимизация систем удержания морских плавучих заякоренных сооружений. Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. 2021, № 62/63, С. 50-61.*
2. *Vidrio-Sahagún, Cuauhtémoc Tonatiuh и др. Stationary Hydrological Frequency Analysis Coupled with Uncertainty Assessment under Nonstationary Scenarios. Journal of Hydrology. 2021, Т. 5, р. 125.*
3. *Гидротехнические работы. Системы удержания плавучих сооружений в месте эксплуатации. Правила и общие требования к производству и приемке работ по монтажу и установке: стандарт организации СТО Нострой 2.30.154-2014. Москва: ООО Бумажник. 2018, 101.*
4. *Сооружения нефтегазопромысловые морские. Системы позиционирования плавучих сооружений. ГОСТ Р 58773-2019 (ISO 19901. 7:2013) М.: Стандартиформ. 2020, 164 с.*
5. *Руководство по определению нагрузок и воздействий на гидротехнические сооружения (волновых, ледовых и от судов). П 58-76. Ленинград: Изд. ВНИИГ. 1977, 321 с.*
6. *Цепи якорные с распорками: общие технические условия. ГОСТ 228-79 (СТ СЭВ 713-83). Переизд. с изм. май 1997. ИПК Издательство стандартов. М. 1997, 32.*
7. *Кульмач П.П. Якорные системы удержания плавучих объектов. Вопросы статики и динамики плавучих сооружений на якорях. Серия: Техника освоения океана. Л., Судостроение. 1980, 336.*
8. *Нигметов М.Ж., Султанов Т.Т. Анализ влияния параметров упругой анизотропии и угла наклона плоскости изотропии на напряженно-деформированное состояние морских буровых платформ. Поиск. 2004, №4(2), 242-247.*
9. *Ma, Kai-Tung, и др. Environmental Loads and Vessel Motions. Mooring System Engineering for Offshore Structures. Elsevier. 2019, 41–62.*
10. *Султанов Т. Т., Тлепиева Г. М. Напряженно-деформированное состояние морских буровых платформ на шельфе Каспийского моря. Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2018, Т. 10, № 5, 960–974*
11. *Сугиров, Д.У. Статический расчет систем заякорения морских плавучих сооружений. Механика и технологии: научный журнал. 2021, №3(73), 39-44.*
12. *Бугаенко Б.А., Галь А.Ф., Андрейчикова А.Ю. Многоякорные системы удержания плавучих сооружений океанотехники. НУК. Николаев. 2011, 340.*
13. *Hal A.F., Haidai H.Yu., Hrieshnov A.Yu. Analysis of the marine technology Floating objects multi-anchor positioning system. Scientific notes of TNU named Vernadsky. Series: technical sciences. 2020, vol. 31 (70), part 2, № 2, 154-159. DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-2/26>*

References:

1. *Bolshev A.S., Frolov S.A., Shonina E.V. Optimization of marine floating anchored structures retention systems. Scientific and Technical collection of the Russian Maritime Register of Shipping. 2021, No. 62/63, 50-61.*
2. *Vidrio-Sahagún, Cuauhtémoc Tonatiuh, et al. Stationary Hydrological Frequency Analysis Coupled with Uncertain Assessment under Nonstationary Scenarios. Journal of Hydrology. 2021, vol. 5, 125.*
3. *Hydraulic engineering works. Systems for holding floating structures in place of operation. Rules and general requirements for the production and acceptance of works on installation and installation: the standard of the organization STO Nostroy 2.30.154-2014. Moscow: OOO Wallet. 2018, 101.*
4. *Offshore oil and gas facilities. Positioning systems of floating structures. GOST R 58773-2019 (ISO 19901. 7:2013) Moscow: Standartinform. 2020, 164.*
5. *Guidelines for determining loads and impacts on hydraulic structures (wave, ice and from ships). P 58-76. Leningrad: VNIIG Publishing House. 1977, 321.*
6. *Anchor chains with spacers: general technical conditions //GOST 228-79 (ST SEV 713-83). Reprint. with ed. May 1997. IPK Publishing House of Standards. M. 1997, 32.*
7. *Kulmach P.P. Anchor systems for holding floating objects. Questions of statics and dynamics of floating structures on anchors. Series: Technique of ocean development. L., Shipbuilding. 1980, 336.*
8. *Nigmatov M.Zh., Sultanov T.T. Analysis of the influence of elastic anisotropy parameters and the angle of inclination of the isotropy plane on the stress-strain state of offshore drilling platforms. Search. 2004, No.4(2), 242-247.*
9. *Ma, Kai-Tung, et al. Environmental Loads and Vessel Movements. Mooring System Engineering for Offshore Structures. Elsevier. 2019, 41-62.*
10. *Sultanov T. T., Tlepieva G. M. Stress-strain state of offshore drilling platforms on the Caspian Sea shelf. Bulletin of the Admiral S. O. Makarov State University of the Sea and River Fleet. 2018, vol. 10, No. 5, 960-974*
11. *Sugirov, D.U. Static calculation of anchoring systems of marine floating structures. Mechanics and Technologies: Scientific journal. 2021, №3(73), 39-44.*
12. *Bugaenko B.A., Gal A.F., Andreychikova A.Yu. Multi-anchor retention systems of floating structures of ocean engineering. NUK. Nikolaev. 2011. 340.*
13. *Hal A.F., Haidai H.Yu., Hrieshnov A.Yu. Analysis of the marine technology Floating objects multi-anchor positioning system. Scientific notes of TNU named Vernadsky. Series: technical sciences. 2020, vol. 31 (70). Part 2, No. 2, 154-159. DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-2/26>*

**Д.У. Сугиров*, М.Ж. Нигметов, Г.Г. Байсарова,
К.Ш. Ержанов, Н.А. Жайылхан**

Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті,
Ақтау, Қазақстан

Авторлар туралы ақпарат:

Сугиров Джиенбек Умирзаевич – техника ғылымдарының докторы, профессор, Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті, Ақтау, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0002-8109-1658>, e-mail: sugirov-56@mail.ru

Нығметов әкім Мұрат Жәлелұлы – қауымдастырылған профессор, Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті, Ақтау, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0002-8763-4297>, e-mail: mermurad.nigmatov@yu.edu.kz

Байсарова Гульбану Гасангулиевна – PhD, Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті, Ақтау, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0001-9770-0473>, e-mail: gulbany.baisarova@yu.edu.kz

Ержанов Калый Шахмарданович – қауымдастырылған профессор, Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті, Ақтау, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0003-3053-0232>, e-mail: kali.erzanov@yu.edu.kz

Жайылхан Мурадин Алиұлы – қауымдастырылған профессор, Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті, Ақтау, Қазақстан
<https://orcid.org/0000-0001-5072-833X>, e-mail: kali.erzanov@yu.edu.kz

ЖҮЗБЕЛІ БҰРҒЫЛАУ ПЛАТФОРМАЛАРЫНЫҢ ЗӘКІР ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ СТАТИКАЛЫҚ ЕСЕБІ

Аңдатпа. *Зерттеудің өзектілігі – қымбат жүзбелі құрылыстарды жалға беру жүйесінің үздіксіз жұмысын қамтамасыз етудің маңыздылығы. Кез келген сыртқы әсер ету кезінде ұстап қалу жүйесі жүзбелі объектінің қалыпты пайдаланылуын жалғастыруды қамтамасыз етуі тиіс. Бұған статикалық есептеулер арқылы осы жүйелердің негізгі параметрлерін анықтау арқылы қол жеткізу ұсынылады. Зерттеудің мақсаты-қалқымалы құрылымдардың байланысын есептеудің қолданыстағы тәсілдері мен әдістерін қарастыру және статикалық қондырғыда жүйенің параметрлерін алу. Бұл жұмыстың әдіснамалық негізі стандарттар мен ережелерден, сондай-ақ бірқатар отандық және шетелдік мамандардың зерттеулерінің негізгі нәтижелерінен тұрады.*

Түйін сөздер: *жүзбелі құрылыс, зәкірлік ұстау жүйесі, статикалық есептеу, жүзбелі объектінің орын ауыстыруы.*

**D.U. Sugirov*, M.Zh. Nigmatov, G.G. Baysarova,
K.S. Yerzhanov, M.A. Zhayilkhan**

Caspian University of Technology and Engineering named after Sh. Yessenov,
Aktau, Kazakhstan

Information about authors:

Sugirov Dzhenbek Umirzaevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Caspian University of Technology and Engineering named after Sh. Yessenov, Aktau, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-8109-1658>, e-mail: sugirov-56@mail.ru

Nigmatov Mermurat Zhalelovich – Associated Professor, Caspian University of Technology and Engineering named after Sh. Yessenov, Aktau, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-8763-4297>, e-mail: mermurad.nigmatov@yu.edu.kz

Baysarova Gulbanu Gasangulievna – PhD, Caspian University of Technology and Engineering named after Sh. Yessenov, Aktau, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0001-9770-0473>, e-mail: gulbany.baisarova@yu.edu.kz

Yerzhanov Kalyu Shakhmardanovich – Associated Professor, Caspian University of Technology and Engineering named after Sh. Yessenov, Aktau, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0003-3053-0232>, e-mail: kali.erzanov@yu.edu.kz

Zhayilkhan Muradin Alievich – Associated Professor, Caspian University of Technology and Engineering named after Sh. Yessenov, Aktau, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0001-5072-833X>, e-mail: kali.erzanov@yu.edu.kz

STATIC CALCULATION OF ANCHOR SYSTEMS OF FLOATING DRILLING PLATFORMS

Abstract. *The relevance of the study lies in the importance of ensuring the trouble-free operation of the anchoring system of expensive floating structures. Under any external influences, the retention system must ensure the continuation of normal operation of the floating object. It is proposed to achieve this by determining the main parameters of these systems by static calculations. The purpose of the study is to consider the available approaches and methods for calculating the anchoring of floating structures and obtaining the parameters of the system in a static formulation. The methodological basis of this work consists of standards and rules, as well as the main research results of a number of domestic and foreign specialists.*

Keywords: *floating structure, anchoring systems, static calculation, movement of a floating object, anchor retention system.*