

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ТЕПЛОВОЕ СОСТОЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОПОРНЫХ БЛОКОВ МОРСКИХ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАТФОРМ

Староконь И.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина, Москва, Россия (119991, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 65), e-mail: starokon79@mail.ru )

---

Морские стационарные платформы (МСП) подвергаются воздействию солнечного излучения, что приводит к их нагреву. В свою очередь изменение теплового состояния (ТС) конструктивных элементов (КЭ) опорного блока приводит к возникновению различных по направлению и величине температурных напряжений, анализ которых проведен автором в работе [4]. Ранее автором была разработана методика [3], позволяющая рассчитать температуру КЭ опорного блока без учета влияния окружающей среды. В настоящей статье приводится дополненная методика, которая позволяет оценить это влияние как в условиях свободной, так и вынужденной конвекции. Помимо этого в формулу для оценки температуры поверхности элементов введен поправочный коэффициент, учитывающий их степень черноты. На основе разработанной методики приведен пример расчета теплового состояния КЭ ОП МСП в условиях Черного моря. Выявлена разница между ТС колон, раскосов и горизонтальных элементов.

---

Ключевые слова: морские, стационарные, платформы, солнечное, излучение, температурные, воздействия, напряжения, тепловой, поток, теплоотдача.

## THE IMPACT OF ENVIRONMENT ON THERMAL STATE OF OFFSHORE PLATFORMS

Starokon I.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Russian State oil and gas university named after I.M. Gubkin (119991, Moscow, Leninsky prospect, 65, e-mail: starokon79@mail.ru)

---

Offshore Platforms are exposed to solar radiation, which causes them to heat. The change in the thermal condition (TC) structural elements (FE) results in a different direction and magnitude of thermal stresses, whose analysis by the author in [4]. Previously, the author has developed a method [3], which allows to calculate the temperature of the elements without the influence of the environment. This paper presents the augmented technique that allows us to estimate the effect of this in terms of free and forced convection. In addition to the formula to estimate the surface temperature of the elements introduced a correction factor which takes into account their degree of blackness. On the basis of the developed technique is an example of the calculation of the thermal state of offshore platforms in the Black Sea. Revealed a difference between the TC columns, diagonals and horizontal elements.

---

Keywords: marine, offshore platforms, solar radiation, temperature, exposure, thermal, flow, heat transfer.

Морские стационарные платформы подвергаются различным воздействиям, влияющим на их напряженное состояние. Одним из таких воздействий является температурное, вызывающее переменные температурные напряжения в сечениях их конструктивных элементов. Ранее, в работе [3] автором было доказано это влияние и обоснована методика его численной оценки. Однако эта методика не учитывала теплообмена с окружающей средой. Целью настоящей статьи является исследование влияния окружающей среды на формирование температуры внешней стенки конструктивных элементов МСП. В качестве примера будут рассмотрены тепловые процессы опорных блоков морских стационарных платформ, расположенных на месторождениях нефти и газа Черного моря. Анализ проектов МСП показал, что конструктивно опорные блоки МСП выполнены из стальных труб

различного диаметра от 325 мм до 1020 мм. Как это было показано в работах [1, 3-5], опорный блок МСП подвергается воздействию солнечной радиации, что вызывает изменение его температурного состояния. Автором в работе [3] была предложена методика, позволяющая численно оценить величину этого воздействия, которая заключается в вычислении величины плотности теплового потока, действующего на горизонтальные, вертикальные и наклонные конструктивные элементы, и предложена новая формула расчета температуры внешней стенки конструктивных элементов (КЭ) МСП в зависимости от динамики изменения плотности теплового потока. Однако за рамками статьи [3] осталось оценка влияния окружающей среды на формирование температуры внешней стенки исследуемого объекта. В настоящей статье проводится изучение этого влияния. Из классической теории термодинамики нам известно, что при воздействии теплового потока на твердое тело, часть радиации поглощается и нагревает тело, а часть отражается. Соотношение между поглощенной и отраженной солнечной радиацией определяется так называемой «степенью черноты». Что же представляют собой КЭ МСП? Это стальные трубы, с нанесенным на него лакокрасочным покрытием, предохраняющим его от коррозионного воздействия и имеющим свою, в некоторых случаях весьма значительную, отражающую способность. Однако, как показала практика эксплуатации опорных блоков, фактически разрушение лакокрасочного покрытия (ЛКП) происходит уже через один, два года после его нанесения в зависимости от марки и завода изготовителя. В связи с тем, что процесс восстановления ЛКП является чрезвычайно дорогостоящим, его проводят один раз в 10 лет. Кроме того, на практике не в достаточной мере соблюдаются требования к предварительным операциям по подготовке поверхности КЭ МСП к нанесению ЛКП (например, зачистка поверхности), что также снижает стойкость лакокрасочного покрытия к разрушению. В свою очередь, некачественное ЛКП приводит к усилению коррозионных процессов. Фактическое состояние элементов опорного блока можно описать как «стальные трубы с сильно окисленной поверхностью», для которых приведенная степень черноты согласно справочным данным составляет 0,74, т.е. другими словами, при воздействии солнечной радиации на элементы опорного блока лишь 26 % этой энергии отражаются, остальные же 74 % – поглощаются и нагревают элементы опорного блока. В свою очередь нагретый конструктивный элемент излучает энергию в окружающую среду. Процесс теплоотдачи происходит за счет излучения и конвекции, которая подразделяется на – свободную и вынужденную. Все эти процессы характеризуются коэффициентами теплоотдачи. При теплообмене излучением, коэффициент теплоотдачи  $\alpha_{л}$  вычисляется по формуле:

$$\alpha_{л} = \frac{\varepsilon \cdot C \cdot \left[ \left( \frac{T_{ст} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{возд} + 273}{100} \right)^4 \right]}{T_{ст} - T_{возд}}, (1)$$

где:  $\varepsilon$  – степень черноты КЭ МСП, принимаемая равной 0,74;  $C$  – коэффициент излучения абсолютно черного тела, равный  $5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}^4)$ ;  $T_{\text{ст}}$  и  $T_{\text{возд}}$  температура стенки КЭ МСП и температура воздуха в градусах Цельсия. При свободной или вынужденной конвекции коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  можно вычислить по формуле:

$$\alpha_k = \frac{Nu \cdot \lambda}{D}, (2)$$

Где:  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи,  $\text{Вт}/\text{м}^2\text{К}$ ;  $Nu$ -число Нуссельдта;  $D$  – диаметр конструктивного элемента МСП, м;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности воздуха,  $10^{-2} \text{ (Вт/мК)}$ .

В свою очередь, число Нуссельдта определяется по формуле:

$$Nu = C \cdot (Gr \cdot Pr)^n \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_{\text{ст}}}\right)^{0,25} (3),$$

где:  $C$  и  $n$  значения, выбираемые из таблицы 1;  $Gr$ -число Грасгофа;  $Pr$ -число Прандтля при определенной температуре воздуха;  $Pr_{\text{ст}}$ -число Прандтля воздуха, при температуре стенки КЭ МСП.

Таблица 1

Значение коэффициента  $C$  и показателя степени  $n$

Режим	$Gr \cdot Pr$	$C$	$n$
Ламинарный	$1 \cdot 10^3 \div 5 \cdot 10^2$	1,18	0,125
Переходный	$5 \cdot 10^2 \div 2 \cdot 10^7$	0,54	0,25
Турбулентный	$2 \cdot 10^7 \div 1 \cdot 10^{12}$	0,185	0,33

В свою очередь число Грасгофа определяется по формуле:

$$Gr = \frac{g \cdot D^3 \cdot \beta \cdot (t_c - t_v)}{\nu^2}, (4),$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $g=9,81 \text{ м/с}^2$ ;  $D$  – диаметр КЭ МСП в метрах;  $\beta$  – температурный коэффициент объемного расширения воздуха, равный  $\frac{1}{273+t_v}$ ;  $t_c$  и  $t_v$  – температуры стенки КЭ МСП и воздуха. Число Прандтля является справочной величиной. Процесс вынужденного конвективного теплообмена имеет свои особенности. Анализ данных из справочников по климату Черного моря позволят утверждать, что наиболее сильные штормовые ветра, способные серьезно повлиять на формирование температуры КЭ МСП, приходится с ноября по март в период минимальной солнечной активности. Так, например, в прибрежной зоне СВЧМ диапазон значений средней скорости ветра изменяется от 2,7–2,8 м/с на ЮБК до 6–7 м/с, в районах Керченского пролива и Кавказа. С другой стороны, с апреля по ноябрь происходит ослабление ветровой активности, скорость ветра уменьшается до 1,9–2,4 м/с и 3,3–5,3 м/с соответственно, при этом значительно усиливается интенсивность солнечного излучения. Исходя из этого, автором для рассмотрения был выбран период с апреля по ноябрь, т.к. именно в этот период происходят наиболее значительные изменения температурного состояния КЭ МСП. Совершенно очевидно, что при обтекании элементов МСП ветровым потоком происходит сложный теплообмен,

складывающийся из двух составляющих: вынужденный конвективный теплообмен и теплообмен излучением. Большое значение на формирование температуры КЭ МСП имеет ориентация ветрового потока по отношению к ним. Рассмотрим случай поперечного обтекания ветровым потоком элементов КЭ МСП. Основным критерием, определяющим интенсивность теплообмена, является коэффициент теплоотдачи  $\alpha$ . Для вычисления этого коэффициента необходимо знать следующие исходные данные: диаметр конструктивного элемента МСП, скорость ветрового потока, его направление по отношению к рассматриваемому элементу. При расчете числа Нусельдта большое значение имеет ориентация потока, определяемая углом  $\mu$ . Среднее по периметру число Нусельдта определяется с учетом угла атаки  $\phi$  при помощи умножения на поправочный коэффициент  $\varepsilon_\phi$ . Для рассматриваемых нами условий обтекания ветром элементов МСП число Нусельдта определяется из условий

1) При  $Re=10\dots 10^3$   $Nu = 0,43Re^{0.5}\varepsilon_\phi$ , 2) При  $Re=10^3\dots 2*10^5$   $Nu = 0,216Re^{0.6}\varepsilon_\phi$ , 3) При  $Re$  более  $2*10^5$   $Nu = 1,14CPr^{0.4}Re^m$ . В этих условиях приняты следующие обозначения:  $Re$ -число Рейнольдса,  $Nu$ -число Нуссельдта,  $\varepsilon_\phi$ -коэффициент, зависящий от направления ветра и выбираемый по таблице 1,  $C=0,023$  и  $m=0,8$  коэффициенты, принимаемые в соответствии с работой [2],  $Pr$ -число Прандтля, принимаемое в соответствии с таблицей 3.

Таблица 2

Значение коэффициента  $\varepsilon_\phi$  в зависимости от направления ветра

гол $\phi$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\varepsilon_\phi$	,42	,52	,67	,78	,88	,94	,98		

В свою очередь, число Рейнольдса определяется по формуле:

$$Re = \frac{wD}{\nu}, \quad (5)$$

Где:  $w$  – скорость ветра, м/с;  $D$  – диаметр конструктивного элемента МСП, м;  $\nu$  – кинематическая вязкость воздуха м<sup>2</sup>/с, которая определяется из таблицы 3.

Таблица 3

Некоторые параметры свойств воздуха при различных температурах

Температура воздуха		0	0	0	0	0	0
Кинематическая вязкость, $10^{-6}m^2/c$	3,28	4,16	5,06	6	6,96	7,95	8,97
Число Прандтля	,715	,714	,713	,712	,711	,710	,709
Коэффициент теплопроводности воздуха $\lambda$ , $10^{-2}$ (Вт/мК)	,44	,51	,59	,67	,76	,83	,9

Исходя из вышесказанного, автором был проведен расчет чисел Рейнольдса и Нуссельдта, в результате чего были получены значения коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  для рассматриваемых нами условий. В настоящее время хорошо изучены процессы теплообмена между равномерно нагретой трубой и окружающей средой. Однако вопросы температурного состояния труб при одностороннем нагреве изучены недостаточно. Не исследованы процессы формирования температуры на поверхности стенки трубы и динамики распространения этой температуры по внутренним и внешним поверхностям. В связи с этим автором были проведены многочисленные эксперименты, которые позволили предложить решение этих задач. Первым этапом в решении этих задач является исследование процессов формирования температуры на поверхности КЭ МСП. Так как воздействию прямой солнечной радиации подвергается ровно половина поверхности КЭ МСП, то первоначально для определения температуры этой поверхности предлагается заменить эту нагреваемую часть трубы эквивалентным образцом равным массе всего элемента. Определив температуру поверхности, следует скорректировать это значение за счет расчета теплоотода в окружающую среду. Для коррекции величины  $Q_{кэ}^{кор}$  из формулы следует из плотности теплового потока, создаваемого солнечным излучением  $Q_{кэ}^1$ , вычесть плотность теплового потока, создаваемого ветровым воздействием. Тогда перейдем к следующей формуле:

$$Q_{кэ}^{кор} = Q_{кэ}^1 - q, (6)$$

Затем следует вычислить плотность теплового потока от стенки трубы к более холодной среде набегающего ветрового потока по формуле:

$$q = \gamma \alpha (t_{стенки} - t_{ветра}), (7)$$

$q$  – плотность теплового потока от стенки трубы к набегающему ветровому потоку, Вт/м<sup>2</sup>;  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/м<sup>2</sup>К;  $t_{стенки}$  – температура внешней стенки КЭ МСП;  $t_{ветра}$  – температура набегающего ветрового потока;  $\gamma$  – коэффициент, учитывающий что в рассматриваемом случае воздействию прямого солнечного излучения подвергается только половина трубы, коэффициент принят равным 0,5. В статье [3] автором предлагалась методика, позволяющая рассчитать температуру поверхности КЭ МСП в зависимости от плотности теплового потока, возникающего от солнечного излучения:

$$Q_{кэ}^1 = \pi R L K \cdot (S_{накл} + 2D_{накл}), (8)$$

где:  $Q_{кэ}$  – суммарный тепловой поток солнечного излучения,  $R$  и  $L$  – внешний радиус и длина конструктивного элемента МСП в метрах,  $S_{накл}$  – плотность теплового потока прямого солнечного излучения, падающего на наклонную поверхность конструктивного элемента МСП, Вт/м<sup>2</sup>;  $D_{накл}$  – плотность теплового потока рассеянной солнечной энергии, падающей

на наклонную поверхность конструктивного элемента МСП, Вт/м<sup>2</sup>;  $K$  – поправочный коэффициент, учитывающий отраженный от поверхности морской воды тепловой поток. Методика расчета этих значений приведена в статье [3]. Помимо этого, автором разработана формула, позволяющая определить температуру внешней стенки КЭ МСП, подвергающейся воздействию солнечного излучения (9):

$$T_{i+1} = T_i + 0,74 \frac{\pi R l}{m c} (Q_{i+1} - Q_i) \Delta t, \quad (9)$$

где:  $T_i$  и  $T_{i+1}$  – начальная и рассматриваемая в некоторый момент времени температура поверхности конструктивного элемента МСП, находящегося под действием прямого солнечного излучения;  $R$  – внешний радиус конструктивного элемента МСП, м;  $l$  – его длина, м;  $m$  – масса рассматриваемого участка; 0,74 – поправочный коэффициент, учитывающий степень черноты трубы, а остальные значения приведены в статье [3]. В связи с тем, что начальная и рассматриваемая в некоторый момент времени температура поверхности конструктивного элемента МСП являются неизвестными величинами, автором предлагается следующая методика: 1) рассчитать по формуле (8) суммарные величины плотностей тепловых потоков от солнечного излучения  $Q_{кэ}^1$ , и определить по формуле (9) температуру внешней стенки КЭ МСП; 2) зная данные о параметрах ветрового потока (скорость, температура и др.), рассчитать плотность теплового потока, создаваемого ветровым воздействием по формуле (7); 3) скорректировать величину плотностей тепловых потоков  $Q_{кэ}^{кор}$  по формуле (9); 4) используя полученную величину  $Q_{кэ}^{кор}$ , определить температуру поверхности конструктивного элемента МСП. Рассмотрим пример. Исследуем процесс нагрева и охлаждения МСП на примере 14 августа 2010 г. Данные о климатических условиях получены из архива погоды на сайте [meteoua.com](http://meteoua.com). Рассмотрим горизонтальные конструктивные элементы МСП, выполненные согласно проекту из стальных труб диаметром 325x8мм (масса исследуемого элемента 312,5 кг) и 530x12мм (масса исследуемого элемента 767,7 кг). Также проанализируем вертикальные элементы МСП (колонны), выполненные согласно проекту из стальных труб диаметром 720x20мм (масса исследуемого элемента 1739 кг) и 1020x20мм (масса исследуемого элемента 2474 кг). Для сравнительного анализа примем длину всех элементов одинаковой и равной 10м. Процесс нагрева начинается после восхода солнца в 5:00. Примем коэффициент прозрачности атмосферы  $\epsilon=0,38$ , при этом облачность отсутствует. Создаваемая плотность теплового потока на горизонтальные элементы (ГЭ) к 5:00 имеет значения 13 Вт/м<sup>2</sup>, что практически не влияет на формирование температуры поверхности КЭ МСП. Уже к 7:00 плотность теплового потока на ГЭ достигает значений 384 Вт/м<sup>2</sup>, и уже к 9:00 плотность теплового потока составляет 845 Вт/м<sup>2</sup>. Затем, постепенно возрастая в логарифмической зависимости плотность теплового потока достигает своего максимального значения 1137 Вт/м<sup>2</sup> к 12:00 часам. После этого начинается уменьшение

плотности теплового потока, которое к 15:00 снижается до  $845 \text{ Вт/м}^2$ , к 17:00 составляет  $384 \text{ Вт/м}^2$ , а к 19:00 составляет всего лишь  $19 \text{ Вт/м}^2$ . Несколько иначе формируются плотности тепловых потоков от солнечного воздействия на вертикальные элементы (колонны). Следует отметить, что величины плотностей тепловых потоков при схожих условиях для колонн практически в три раза меньше, чем для горизонтальных элементов. Так в момент максимальных значений тепловых потоков 12:00 в рассматриваемом примере для горизонтальных элементов это значение составляет  $1137 \text{ Вт/м}^2$ , а для колонн всего лишь  $348 \text{ Вт/м}^2$ . Подставляя полученные значения в формулу (9) получим следующие значения (таблица 4).

Таблица 4

Расчетные значения температуры горизонтальных и вертикальных элементов опорного блока МСП при различных условиях окружающей среды

Часы	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
Плотность теплового потока солнечного излучения $Q_{\text{кз}}^1$ , $\text{Вт/м}^2$	84	26	45	014	106	137	90	07	67	89	60	48	
Плотность теплового потока поглощенного конструктивными элементами МСП, $\text{Вт/м}^2$	84	63	25	50	18	41	41	27	72	88	66	58	
Температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$	8	9	0	0	1	2	8	9	0	0	1	2	
Скорость ветра, м/с													
<b>Наименование параметра</b>	<b>Горизонтальный элемент МСП 325x8мм</b>						<b>Вертикальный элемент (колонна) МСП 720x20мм</b>						
Температура внешней поверхности КЭ МСП без учета влияния окружающей среды, $^{\circ}\text{C}$	6	9	00	15	24	27	9	2	4	5	3	3	
Коэффициент теплоотдачи излучением, $\alpha_{\text{л}}$ $\text{Вт/(м}^2\text{C}^0)$	,3	,1	,8	,3	,6	,8	,6	,7	,8	,8	,8	,8	,8
Коэффициент теплоотдачи при свободной конвекции, $\alpha$ $\text{Вт/(м}^2\text{C}^0)$	,9	,1	,9	,9	,1	,1	,6	,8	,1	,5	,3	,6	
Коэффициент теплоотдачи при вынужденной конвекции, $\alpha$ $\text{Вт/(м}^2\text{C}^0)$		0		0				,5		,5			
Плотность отводящего теплового потока при теплообмене излучением и свободной конвекцией	57	55	66	07	93	11		4	8	3			
Температура внешней поверхности КЭ МСП с учетом теплоотдачи излучением и свободной конвекцией, $^{\circ}\text{C}$	9	5	3	6	7	9	7	1	3	3	3	3	
Плотность отводящего теплового потока при теплообмене излучением и вынужденной конвекцией	72	28	31	04	37	55		0	0	1	0		
Температура внешней поверхности КЭ МСП с учетом теплоотдачи излучением и вынужденной конвекцией, $^{\circ}\text{C}$	7	5	3	0	0	2	7	0	3	3	3	3	
<b>Наименование параметра</b>	<b>Горизонтальный элемент МСП 530x12мм</b>						<b>Вертикальный элемент (колонна) МСП 1020x20мм</b>						

Температура внешней поверхности КЭ МСП без учета влияния окружающей среды, С <sup>0</sup>	4	9	3	3	9	1	9	2	4	5	3	3
Коэффициент теплоотдачи излучением, α <sub>л</sub> Вт/(м <sup>2</sup> С <sup>0</sup> )	,0	,5	,8	,0	,2	,4	,6	,7	,8	,8	,8	,8
Коэффициент теплоотдачи при свободной конвекции, α Вт/(м <sup>2</sup> С <sup>0</sup> )	,3	,6	,4	,8	,9	,0	,6	,8	,1	,5	,3	,6
Коэффициент теплоотдачи при вынужденной конвекции, α Вт/(м <sup>2</sup> С <sup>0</sup> )	,6	,5	,6	,5	,6	,6		,5		,5		
Плотность отводящего теплового потока при теплообмене излучением и свободной конвекцией	0	12	05	92	38	54		4	8	3		
Температура внешней поверхности КЭ МСП с учетом теплоотдачи излучением и свободной конвекцией, С <sup>0</sup>	6	1	7	0	2	3	7	1	3	3	3	3
Плотность отводящего теплового потока при теплообмене излучением и вынужденной конвекцией	5	25	45	84	42	54		0	0	1	0	
Температура внешней поверхности КЭ МСП с учетом теплоотдачи излучением и вынужденной конвекцией, С <sup>0</sup>	7	0	2	1	0	1	7	0	3	3	3	3

Как видно из таблицы, формирование температуры поверхности КЭ МСП зависит от многих факторов. На первый взгляд, казалось бы, что чем больше диаметр, а, следовательно, и площадь облучаемой поверхности, тем более высокие температуры должны формироваться на поверхности КЭ МСП. Однако с увеличением диаметра, как правило, увеличивается и толщина стенки КЭ МСП, а это приводит к увеличению массы элемента. А чем больше масса элемента, тем менее высоких температур он будет достигать при нагреве. Следует также отметить одну немаловажную особенность наклонных элементов, а именно – что при их отклонении по отношению к горизонту до угла 25<sup>0</sup> происходит увеличение плотности теплового потока солнечного излучения. Так при одинаковых условиях плотность теплового потока горизонтально расположенного КЭ составляла бы 1137 Вт\м<sup>2</sup>, в то же время для элемента наклоненного под углом 25<sup>0</sup> эта плотность составляет уже 1254 Вт\м<sup>2</sup>. В проанализированных автором проектах наклонные элементы типа раскосов расположены под углом 57<sup>0</sup> по отношению к горизонту, в свою очередь это вызывает снижение максимальной плотности теплового потока до 1072 Вт\м<sup>2</sup>. Это явление влияния угла наклона плоскости на плотность теплового потока от солнечного излучения хорошо изучено в области проектирования солнечных энергоустановок и разработаны методы выбора оптимальных углов наклона плоскости, позволяющие аккумулировать максимально возможную плотность теплового потока от солнечного излучения. Изменяются и коэффициенты теплоотдачи (КТ). При скоростях ветрового потока приблизительно 1 м/с КТ сопоставимы с КТ при свободной конвекции, однако при увеличении скорости ветра до 2 м/с



коэффициенты теплоотдачи существенно возрастают. В результате проведенных расчетов установлено, что в отличие от ГЭ для колонн температурное воздействие незначительное.

### Список литературы

1. Бородавкин П.П. Морские нефтегазовые сооружения : учебник для вузов. Ч. 1. Конструирование. – М. : ООО «Недра-Бизнесцентр», 2006. – 555 с.
2. Луканин В.Н., Шатров М.Г. Теплотехника : учебник для вузов. – М. : Высшая школа, 2000. – 671 с.
3. Староконь И.В. Методика оценки воздействия солнечного излучения на температурное состояние морских стационарных платформ // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2; URL: [www.science-education.ru/116-12713](http://www.science-education.ru/116-12713).
4. Староконь И.В. О результатах численно-аналитического моделирования воздействия переменных и условно стационарных температурных полей на развитие усталостных трещин морских нефтегазовых сооружений (МНГС) // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 1 (часть 1). – С. 153-158.
5. Староконь И.В. Основы теории и практики образования усталостных трещин на морских нефтегазовых сооружениях // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 4; URL: [www.science-education.ru/104-6605](http://www.science-education.ru/104-6605).

### Рецензенты:

Бородавкин П.П., д.т.н., профессор, генеральный директор АО «Интергаз», г. Москва.

Литвин И.Е., д.т.н., генеральный директор ООО «СТД», г. Москва.