

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ И СЕБЕСТОИМОСТИ ЗАВОДСКОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ СТАЦИОНАРНЫХ ГЛУБОКОВОДНЫХ ОСНОВАНИЙ МОРСКИХ ПЛАТФОРМ СРЕДСТВАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В. И. Шушкевич

В статье описываются основные этапы построения укрупненной математической модели заводского изготовления металлоконструкций стационарных глубоководных оснований морских платформ для добычи нефти и газа. На основе полученной модели разработана укрупненная методика, предназначенная для расчета трудоемкости и себестоимости заводского изготовления стационарных глубоководных оснований на ранних стадиях вариантного проектирования.

Ключевые слова: трудоемкость и себестоимость заводского изготовления металлоконструкций, опорные блоки стационарных глубоководных оснований, укрупненная математическая модель заводского производства, стадия вариантного проектирования.

Постановка задачи в общем виде. Задача оценки трудоемкости и себестоимости заводского изготовления строительных металлоконструкций вообще, и стационарных глубоководных оснований (рис. 1, 2) в частности, самым прямым образом связана с задачей математического моделирования процесса их изготовления. Модель должна отображать сущность исследуемого предмета или явления, соответствовать цели конкретной задачи исследования, давать все необходимые данные для вычисления требуемых показателей и не содержать второстепенных связей. Целью исследования является разработка укрупненной математической модели заводского производства металлоконструкций стационарных глубоководных оснований, на основании которой можно было бы создать методику оценки трудоемкости и себестоимости этих конструкций по самым общим показателям конструктивной формы, известным на ранних стадиях вариантного проектирования, до разработки чертежей КМ и КМД.

Анализ последних исследований и публикаций. Попытки определить трудоемкость заводского изготовления металлоконструкций предпринимались с самого начала формирования отечественной конструкторской школы. В основе их до самого последнего времени лежала идея построения аналитической математической модели, в которой связи между объектами характеризуются отношениями – функциями, позволяющими сделать выводы о системе и ее свойствах, а также провести известную оптимизацию.

В 1949-1950 гг. Я.М. Лихтарников успешно применил высказанную в 1902 году академиком Е.О. Патоном [1] идею разделения конструкции на основные и вспомогательные детали, а также конструктивного коэффициента массы к расчету трудоемкости изготовления металлоконструкций. Я.М. Лихтарников установил, что трудоемкость изменяется по параболическому закону и зависит от двух основных показателей: веса и количества основных деталей [2,3,4].

$$T = \Psi_T \cdot C \cdot \sqrt{(G_0 \cdot n_0)}$$

где G_0, n_0 - вес и количество основных деталей;

C - коэффициент пропорциональности, определяемый для различных видов конструкций эмпирическим путем;

Ψ_T - строительный коэффициент трудоемкости, определяемый по аналогии с конструктивным коэффициентом массы.

Дальнейшее развитие этой идеи шло по пути уточнения степени соответствия зависимости, а также анализа строительных коэффициентов трудоемкости, выполненного Стрелецким Д.Н. [5] и Кузнецовым А.Ф. [6].

Вопросам определения строительных коэффициентов трудоемкости для различных строительных металлоконструкций посвящены работы Ладыженского Д.В. [7], Осыки В.А. [8], Летникова Н.С. [10], Левченко В.Н. [10], Колесниченко В.Г., Шуриной Н.Б., Скалаухова А.П., Шевченко Е.В., составившие теоретическую научную школу проф. Я.М. Лихтарникова.

В связи с появлением в настоящее время новых конструктивных форм металлоконструкций, к которым относятся опорные блоки глубоководных морских платформ стали актуальными вопросы оценки их эффективности на ранних стадиях вариантного проектирования. Это требует создания методик анализа таких конструкций, а следовательно, и соответствующих исследований, проводимых на специализированных заводах металлоконструкций.

Формулировка целей статьи: 1. На основании обобщения и статистической обработки результатов исследований, проведенных на заводах металлоконструкций, разработать укрупненную математическую модель заводского производства стационарных глубоководных оснований морских платформ для добычи нефти и газа.

2. На основании полученной математической модели разработать укрупненную методику, предназначенную для расчета трудоемкости и себестоимости заводского изготовления стационарных глубоководных оснований на ранних стадиях проектирования.

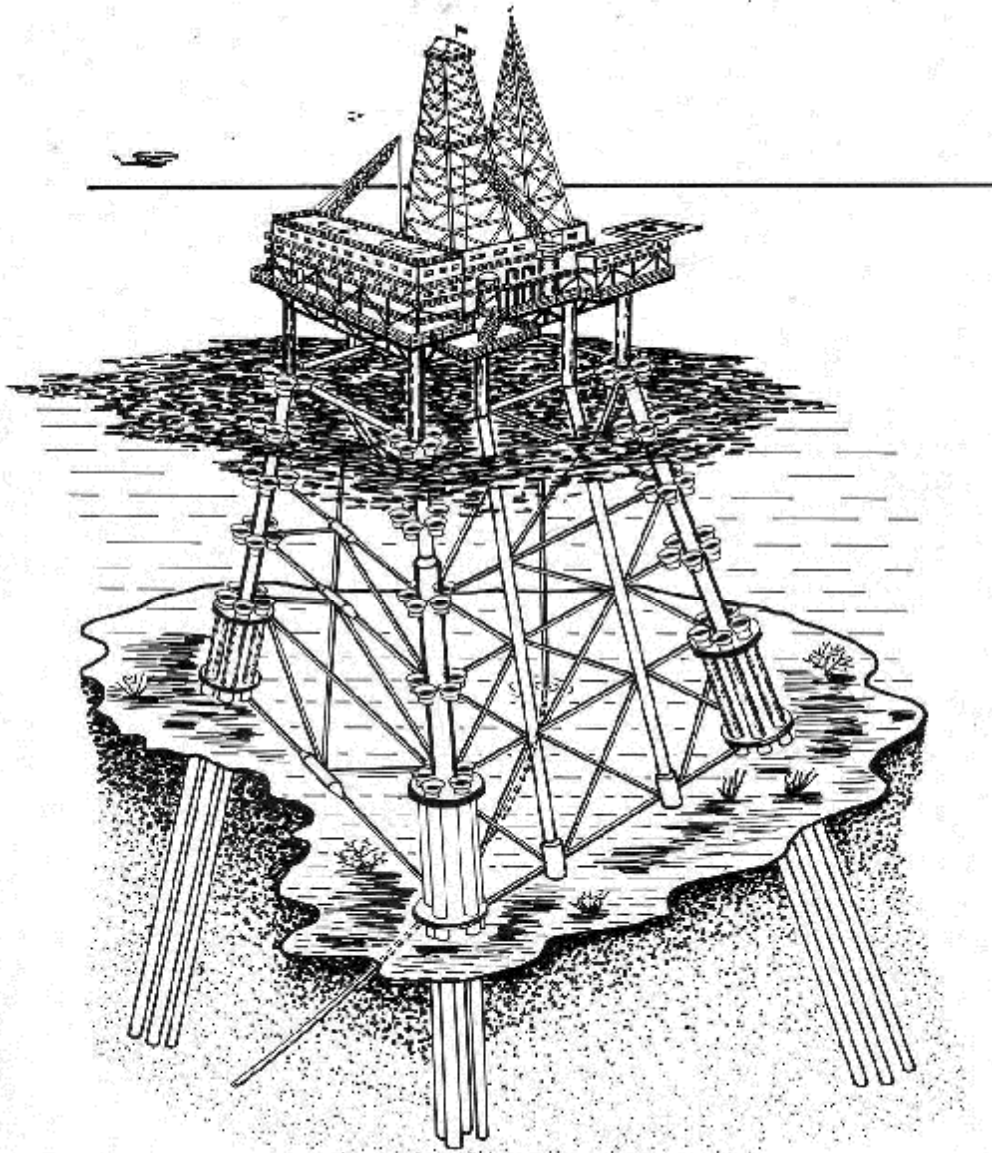


Рис. 1. Стационарное глубоководное основание, закрепляемое к дну сваями

Изложение основного материала. В основе моделирования любого процесса лежит определенная аналогия, соответствие между исследуемым объектом и его моделью. Это позволяет по модели судить о самом объекте, использовать результаты, полученные с помощью модели, но это соответствие оригиналу не является абсолютным. Между ними могут быть и существенные отличия, иначе не было бы смысла в самом моделировании, в использовании модели в качестве «заместителя» изучаемого процесса. Модель воспроизводит лишь некоторые, важные в данном исследовании стороны и свойства оригинала, отвлекаясь от других его сторон [11].

В связи с этим задача моделирования производственных процессов имеет много направлений:

- первым является построение полной экономической модели предприятия как элемента

единого хозяйственного механизма, со всеми связями, для целей планирования и управления.

- вторым направлением является формирование производственной программы выпуска изделий предприятием, цехами основного производства, производственными участками.

- третьим – решение задач текущего оперативного планирования производства, которое предполагает наличие на заводе мощной централизованной системы подготовки и обработки данных, характеризующих состояние производства в известные промежутки времени. Решение этой задачи сдерживается отсутствием надлежащих аппаратных средств и системы подготовки данных.

- четвертым направлением является выбор оптимального технологического маршрута изготовления деталей [12].

- и, наконец, последним, пятым ее направ-

лением является задача совершенствования конструктивной формы изготавливаемой продукции на основе учета и анализа затрат на их заводское изготовление.

Настоящая работа посвящена последнему направлению задачи моделирования. Назначение ее состоит в создании модели производства, дающей количественные характеристики показателей технологичности глубоководного основания: приведенные затраты на изготовление, пол-

ную себестоимость, трудоемкость, как в целом по опорному блоку, так и на уровне отдельных технологических процессов, операций. Достижение этой цели вооружает проектировщика аналитическим инструментом совершенствования конструктивной формы как основания в целом, так и его отдельных элементов. Этой цели подчинены все последующие предпосылки, ограничения и принципы моделирования.

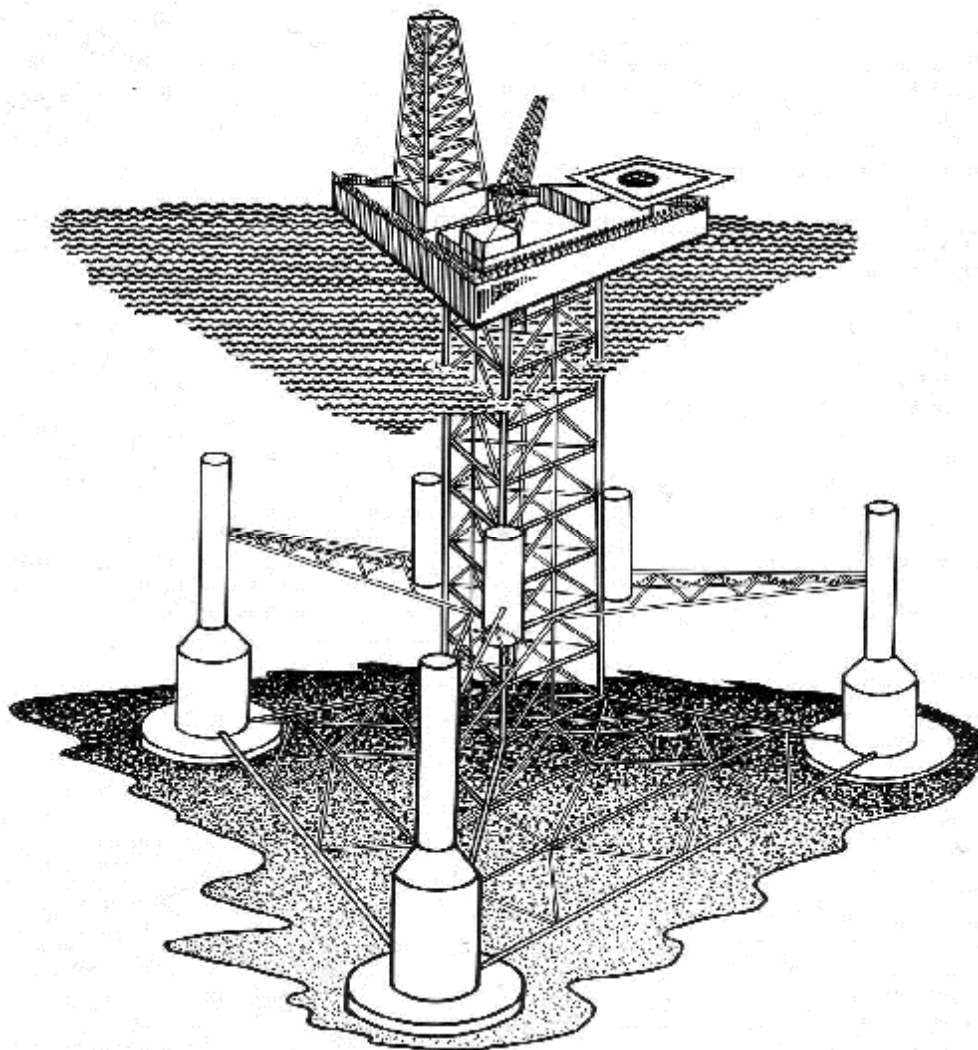


Рис. 2. Стальное гравитационное основание

Первичными исходными данными для построения модели являются нормативы трудоемкости Бакинского завода стационарных глубоководных оснований. Нормативы относятся к операциям или переходам технологического процесса. Использование этих нормативов для оценки трудоемкости при проектировании, особенно на ранних стадиях, не представляется возможным. Во-первых, из-за отсутствия достаточных сведений о конструкции, а также из-за громоздкости такого расчета.

В математической модели, предназначенной для расчета трудоемкости на ранних этапах про-

ектирования, процессы всего технологического цикла изготовления могут быть представлены четырьмя укрупненными (рис. 3). Выбираются главные факторы (параметры), определяющие трудоемкость. Главные параметры выбираются такими, чтобы они были известны конструктору на ранних этапах проектирования. Они же принимаются как аргументы аппроксимационных формул для определения трудоемкости. Далее выполняется расчет коэффициентов аппроксимирующих формул на основе полного состава нормативов, с использованием обычных методов статистики и корреляционного анализа. Точность

полученной аппроксимационной формулы проверяется по величине среднеквадратичной ошибки и коэффициента корреляции (см. табл. 1). Предполагается также возможность декомпозиции, т.е. трудоемкость конструкции в целом рассматривается как сумма трудоемкостей элементов: стержней, узлов. Это предположение справедливо как для операций изготовления деталей, так и для обычных сборочных. Возможности существенных упрощений формул связаны с тем, что весьма разнообразные конструкций глубоководных оснований составляются из небольшой номенклатуры конструктивных элементов, изготавливаемых на специализированных технологических линиях.

В качестве аргумента для элементов конструкции принимается: для стержневых элементов – вес, а для узлов – произведение веса на число стержней, которые этот узел объединяет. Аргументы формул укрупнительной сборки несколько сложнее, при их построении использовался принцип, предложенный д.т.н., проф. Я.М. Лихтарниковым, установившим, что трудоемкость изменяется по параболическому закону и зависит от двух основных показателей: веса и количества основных деталей [2,3,4]:

$$T = \Psi_T \cdot C \cdot \sqrt{G_0 \cdot n_0}, \quad (1)$$

где G_0 , n_0 – вес и количество основных деталей;

C – коэффициент пропорциональности, определяемый для различных видов конструкций эмпирическим путем;

Ψ_T – строительный коэффициент трудоемкости, определяемый по аналогии с конструктивным коэффициентом массы.

На ранних стадиях проектирования стационарных глубоководных оснований конструктор располагает самыми общими параметрами конструктивной формы: примерная масса, как сооружения, так и отдельных конструктивных элементов, количество стержней и узлов, количество элементов, сходящихся в одном узле и т.д. Укрупненная методика, таким образом, должна быть ориентирована на использование вышеперечисленных наиболее общих параметров глубоководного основания.

В соответствии с этими данными можно представить обобщенную конструктивную форму стационарного глубоководного основания состоящей из таких конструктивных элементов как:

- стержни (совокупность обечаек);
- пространственные узлы.

Особенностью организации технологического процесса на Бакинском заводе является сравнительно узкая специализация цехов основного производства. Это открывает возможности упрощенного, укрупненного описания технологии, позволяющего построить аналитическую модель. В принимаемом далее укрупненном описании технологический маршрут составляется из

обобщенных операций, каждая из которых охватывает один цех. Блок-схема укрупненного технологического маршрута представлена на рис. 3.

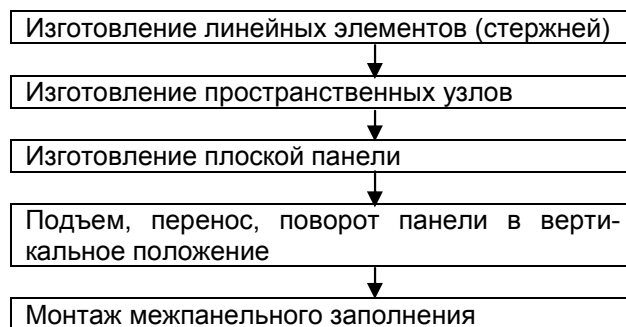


Рис. 3. Блок-схема укрупненной технологии изготовления стационарных глубоководных оснований

В соответствии с приведенной схемой (рис. 3) трудоемкость изготовления глубоководного основания можно записать аналитически как:

$$T = T_{изг.} + T_{сб.} + T_{укр.сб.} + T_{общ.сб.}, \quad (2)$$

где $T_{изг.}$ – трудоемкость изготовления обечаек и пространственных узлов;

$T_{сб.}$ – трудоемкость изготовления длинномерных стержней;

$T_{укр.сб.}$ – трудоемкость укрупнительной сборки панелей из длинномерных стержней

и пространственных узлов;

$T_{общ.сб.}$ – трудоемкость сборки опорного блока на стапеле.

В соответствии с принятыми укрупненными технологическими операциями изготовления труб и узлов, имеющимися сведениями о методах укрупнительной сборки элементов и всей опоры в целом, можно несколько детальнее рассмотреть каждую укрупненную операцию.

Трудоемкость изготовления включает:

$$T_{изг.} = (T_{изг.труб} + T_{изг.узлов}) \cdot \Psi_T, \quad (3)$$

где $T_{изг.труб}$ – трудоемкость изготовления труб;

$T_{изг.узлов}$ – трудоемкость изготовления узлов;

Ψ_T – строительный коэффициент трудоемкости, учитывающий трудоемкость изготовления и установки внутренних элементов жесткости опорного блока.

При их наличии равен 1,1, иначе – 1,0. Здесь и далее: коэффициенты учитывают изготовление и установку прочих мелких деталей, отсутствующих в структуре моделей, но имеющих в действительности вспомогательных [2, 3, 4].

Трудоемкость сборки длинномерных стержней:

$$T_{сб.} = (T_{уст.} + T_{ст.} + T_{св.} + T_{контр.}) \cdot \Psi_T, \quad (4)$$

где $T_{уст.}$ – трудоемкость подачи и установки обечаек на сборочный стенд;

$T_{ст.}$ – трудоемкость состыковки;

$T_{св.}$ – трудоемкость сварки стыков;

$T_{контр.}$ – трудоемкость контроля качества сборки и качества сварных швов;

Ψ_T – строительный коэффициент трудоемкости сборки, учитывающий трудоемкость

сборки «прочих» элементов. Принимается аналогично предыдущему.

Трудоемкость укрупнительной сборки панелей:

$$T_{\text{укр. сборки}} = \sum_{i=1}^n T_i \cdot \psi_T, \quad (5)$$

где T_i - трудоемкость отдельных технологических операций сборки панелей.

Наконец, трудоемкость сборки стационарного основания включает в себя:

$$T_{\text{состыковки}} = t_{\text{сборки}} + t_{\text{с.к.в.}} + t_{\text{с.к.н.}} + t_{\text{контроля}}, \quad (6)$$

где $T_{\text{панелей}}$ - трудоемкость подъема, переноса, установки на стапель и поворота панелей в вертикальное положение;

$T_{\text{м.з.}}$ - трудоемкость монтажа межпанельного заполнения;

$T_{\text{сварк}}$ - трудоемкость сварки стыков.

Целесообразность приведенного методического подхода состоит в том, что при большой сложности как конструктивного решения, так и технологии, оказывается возможным исследовать каждый технологический процесс (операцию) в отдельности, с требуемой степенью глубины.

В свете исторически сформировавшегося методического подхода оказывается возможным, при наличии достаточного количества фактических данных по трудоемкости изготовления элементов опорных блоков глубоководных платформ, установление отношений между параметрами конструктивной формы и величиной трудозатрат на её изготовление.

С целью удобства пользования, а также возможности получения не слишком громоздких заключительных аналитических выражений предпочтение сознательно отдавалось линейным формулам при вполне удовлетворительной точности аппроксимации (табл. 2).

Общий подход проиллюстрируем на нескольких примерах. Подробное изложение дано в работе [13].

Трудоемкость состыковки обечаек в длинномерные стержни включает в себя трудозатраты на сборку элемента из отдельных обечаек со

сваркой кольцевых внутренних и наружных швов, контролем их качества и исправлением дефектов. В соответствии с этими предпосылками трудоемкость состыковки можно записать:

$$T_{\text{состыковки}} = t_{\text{сборки}} + t_{\text{с.к.в.}} + t_{\text{с.к.н.}} + t_{\text{контроля}}, \quad (7)$$

где $t_{\text{сборки}}$ - трудоемкость сборки трубы их отдельных обечаек;

$t_{\text{с.к.в.}}$ - трудоемкость сварки кольцевых внутренних швов;

$t_{\text{с.к.н.}}$ - трудоемкость сварки кольцевых наружных швов;

$t_{\text{контроля}}$ - трудоемкость контроля качества сварных швов и трубы в целом, исправление дефектов.

Определим отношения между трудоемкостью отдельных операций изготовления и параметрами конструктивной формы.

Трудоемкость сборки стержня из отдельных обечаек зависит от веса и количества обечаек. Тогда

$$t_{\text{сборки}} = f(n_{\text{об.}}, g), \quad (8)$$

где $n_{\text{об.}}$ - количество обечаек;

g - вес одной обечайки.

Трудоемкость сварки замыкающих кольцевых швов зависит от толщины металла, что определяет объем наплавленного металла.

$$t^{\text{св.}} = f(L, \delta, V), \quad (9)$$

где L - длина сварного шва;

δ - толщина металла;

V - объем наплавленного металла.

Поскольку толщина металла и диаметр обечайки определяют, в конечном счете, массу сварного шва, правомерно записать:

$$t^{\text{св.}} = f(\delta, g) \quad (10)$$

Таким образом, для оценки трудоемкости состыковки обечаек по укрупненным показателям (а именно они имеются в распоряжении проектировщика на ранних стадиях разработки конструктивной формы) правомерно определять величину трудозатрат в функции веса длинномерного элемента. На основании статистической обработки нормативных данных по технологическому процессу состыковки получены нижеследующие аналитические выражения (табл. 1).

Таблица 1: Аналитические выражения для определения трудоемкости состыковки обечаек в длинномерные стержни

№ п.п.	Наименование технологической операции	Аппроксимирующее выражение	Ср. кв. ошибка, %	Коэффициент корреляции
1.	Сборка	$t_{\text{сборки}} = 2,7 + 0,2 \cdot g$	3,2	0,991
2.	Сварка внутренних кольцевых швов	$t_{\text{св.к.в.}} = 0,9 \cdot g$	6,9	0,979
3.	Сварка наружных кольцевых швов	$t_{\text{св.к.н.}} = 0,6 \cdot g$	8,7	0,978
4.	Контроль качества	$t_{\text{к}} = 0,6 + 0,06 \cdot g$	9,9	0,95
5.	Исправление дефектов	$t = 0,4 \cdot g$	10,0	0,987
6.	Общая трудоемкость состыковки	$T_{\text{сост.}} = 3,3 + 2,16 \cdot g$	11,3	0,987

* В таблице: g - масса длинномерного элемента в тоннах.

При определении трудоемкости учтен соответствующий объем транспортных операций, зависящих от веса и количества элементов.

Аналогично получены аналитические выражения для определения трудоемкости всех операций изготовления опорных блоков глубоковод-

ных морских платформ. В полном объеме с ними можно ознакомиться в [13].

Аналитические выражения, определяющие пооперационную трудоемкость изготовления элементов стационарных глубоководных оснований в результате их суммирования и преобразования приводят к результирующим формулам для определения трудоемкости изготовления как крупных отправочных элементов. так и оснований в целом на основе укрупненных конструктивных параметров: масса стержней, узлов, количества элементов, сходящихся в одном узле и т.п.

Трудоемкость изготовления одного линейного элемента (стержня) основания стационарной платформы:

$$T_{\text{изг.тр.}} = (A + B \cdot g) \cdot K_{\text{нр}} \cdot K_{\text{с}} \cdot K_{\text{т}}, \quad (11)$$

где $A = 22,823$ и $B = 8,99$ - коэффициенты, полученные путем обработки статистических данных (ср. кв. ошибка - 4,74%, коэффициент корреляции - 0,996);

g - масса стержня, тн;

$K_{\text{нр}}$ - коэффициент, учитывающий нерасчетные операции при изготовлении труб и равный 1,15 - 1,2;

$K_{\text{с}}$ - коэффициент, учитывающий влияние серийности. При количестве элементов в партии 6 - 8 $K_{\text{с}} = 1$, при меньшем $K_{\text{с}} = 1,1$, при большем $K_{\text{с}} = 0,92$;

$K_{\text{т}}$ - коэффициент, учитывающий увеличение трудоемкости изготовления за счет применения низколегированных или высокопрочных сталей, $K_{\text{т}} = 1,0 - 1,47$.

Трудоемкость изготовления всех линейных элементов стационарного основания:

$$T_{\text{изг.труб}} = (A \cdot n_0 + B \cdot G_{\text{т}} \cdot K_{\text{р}}) \cdot K_{\text{нр}} \cdot K_{\text{с}} \cdot K_{\text{т}}, \quad (12)$$

где $K_{\text{р}}$ - коэффициент расхода металла, по данным ВНИКТИСКа - 1,12;

$G_{\text{т}} = g \cdot n_0$ - масса всех линейных элементов опорного блока (основания).

Аналогично трудоемкость изготовления одного пространственного трубного узла:

$$T_{\text{изг.узла}} = (A + B \cdot g_{\text{у}} + A_{\text{у}} + B_{\text{у}} \cdot g_{\text{у}} \cdot n_{\text{у}}) \cdot K_{\text{нр}} \cdot K_{\text{с}} \cdot K_{\text{т}}, \quad (13)$$

где $A_{\text{у}} = 150,5$ и $B_{\text{у}} = 1,8$ - коэффициенты аппроксимации при величине среднеквадратичной ошибки 8,3% и коэффициенте корреляции 0,978;

$g_{\text{у}}$ - масса узла, тн;

$n_{\text{у}}$ - количество стержней (труб), сходящихся в одном узле, шт.

Трудоемкость изготовления всех пространственных узлов основания:

$$T_{\text{изг.узлов осн.}} = (173,32 \cdot m + 9 \cdot G_{\text{у}} \cdot K_{\text{р}} + 1,8 \cdot G_{\text{у}} \cdot K_{\text{р}} \cdot n_{\text{у}}) \cdot K_{\text{нр}} \cdot K_{\text{с}} \cdot K_{\text{т}}, \quad (14)$$

где m - количество узлов в стационарном основании, шт.;

$G_{\text{у}}$ - масса всех узлов основания, тн;

$n_{\text{у}}$ - среднее количество стержней, сходящихся в одном узле, и равное отношению количества стержней к количеству узлов;

$K_{\text{р}} = 1,12 - 1,18$ - коэффициент расхода ме-

талла.

Определение трудоемкости укрупнительной сборки панели опорного блока осуществляется по формуле:

$$T_{\text{укр.сб.}} = (40,41 \cdot m_1 + 20 \cdot n_1 + 6,62 \cdot n_2 + 1,65 \cdot G_{\text{п}} + 5,75 \cdot \sqrt{(n_2 \cdot G_{\text{р}} / L_{\text{с}}) + 13,47 \cdot G_{\text{р}} / L_{\text{с}}}) \cdot K_{\text{м}} \cdot K_{\text{л}} \cdot K_{\text{н}}, \quad (15)$$

где m_1 - число узлов панели, примыкающих к поясам (узлы поясов панели);

n_1 - общее число стержней панели;

n_2 - количество стержней решетки панели;

$G_{\text{п}}$ - полная масса панели, тн;

$G_{\text{р}}$ - масса стержней решетки панели, тн;

$L_{\text{с}}$ - средняя длина стержня решетки панели,

м;

$K_{\text{м}} = 1,2$ - коэффициент учета местных условий (по данным НИС-6);

$K_{\text{л}} = 1,5$ - коэффициент повышения трудоемкости при работе с люлек и навесных лестниц;

$K_{\text{н}} = 1,3$ - коэффициент нерасчетных операций.

Трудоемкость сварки стержней на монтажной площадке определяется по формуле:

$$T_{\text{св.}} = (6,8 \cdot n_4 + 34 \cdot G_{\text{ст.}} / L_{\text{с}}) \cdot K_{\text{м}} \cdot K_{\text{л}} \cdot K_{\text{н}}, \quad (16)$$

где n_4 - количество стержней, где сварка выполняется с полным проплавлением, с двух сторон;

$G_{\text{ст.}}$ - масса стержней, тн;

$K_{\text{л}} = 1,25$; $K_{\text{м}} = 1,2$;

$L_{\text{с}}$ - средняя длина стержня, м.

Трудоемкость сварки стыков линейных элементов (стержней), выполняемых на подкладном кольце:

$$T_{\text{св.}} = 19 \cdot (G_{\text{р}} / L_{\text{с}}) \cdot K_{\text{л}} \cdot K_{\text{м}} \cdot K_{\text{н}}, \quad (17)$$

где $G_{\text{р}}$ - суммарная масса стержней, у которых одна сторона стыкуется с узлами на подкладном кольце, тн;

$L_{\text{с}}$ - средняя длина таких стержней, м.

Трудоемкость сварки линейных элементов оснований с применением фигурных муфт:

$$T_{\text{св.}} = 39 \cdot (G_{\text{р}} / L_{\text{с}}) \cdot K_{\text{л}} \cdot K_{\text{м}} \cdot K_{\text{н}}, \quad (18)$$

где $G_{\text{р}}$ - суммарная масса стержней, у которых один конец стыкуется с узлом посредством фигурных муфт, тн;

$L_{\text{с}}$ - средняя длина таких стержней, м.

Более подробную информацию о выводе формул (17) и (18) можно получить, например, в [39, 40].

Укрупненный состав работ (по данным Бакинского завода стационарных глубоководных оснований) можно представить нижеследующим образом:

1. Устройство путей движения кранов.
2. Навеска люлек, лестниц и монтаж панелей усиления.
3. Установка лебедок.
4. Устройство поворотных шарниров.
5. Строповка.
6. Горизонтальное перемещение панели на расстояние до 50 метров. и постановка на стапель.

7. Строповка.
8. Подъем панели в вертикальное положение.
9. Установка инвентарных стоек-подкосов.
10. Выверка.
11. Расстроповка.

На основе изучения и анализа нормативных данных Бакинского завода стационарных глубоководных оснований (Бакинского завода СГО) по трудоемкости вышеуказанных технологических процессов, а также их статистической обработки предлагаются нижеследующие формулы для определения величины трудозатрат.

1. Устройство путей движения кранов:

$$T_{21} = 0,34 \cdot n_{щ.} + 2,8 \cdot G_{щ.}, \quad (19)$$

где $n_{щ.}$ - количество укладываемых щитов, шт.;

$G_{щ.}$ - общая масса щитов, тн. Масса одного щита составляет 200 кг.

2. Трудоемкость навески люлек и лестниц в соответствии с § 5-1-3 ЕНиР может быть определена по формуле:

$$T_{22} = 0,58 \cdot n_p + 0,19 \cdot n_p \cdot L_p, \quad (20)$$

где n_p - число распорок панели; L_p - средняя длина панели, м.

Иначе:

$$T_{22} = 0,19 \cdot n_p \cdot (3 + L_p), \quad (21)$$

3. Установка лебедок дотягивания и торможения (ЕНиР, § 24-5):

$$T_{23} = 18 \cdot n_l, \quad (22)$$

где n_l - количество лебедок.

4. Закрепление и снятие оттяжек (ЕНиР, § 24-11):

$$T_{24} = 2,88 \cdot n_p, \quad (23)$$

где n_p - количество оттяжек, шт.

5. Устройство и установка якорей (ЕНиР, § 24-4Д):

$$T_{24}^1 = 34 \cdot n_{я}, \quad (24)$$

где $n_{я}$ - количество якорей, шт.

6. Устройство поворотных шарниров:

$$T_{25} = 20,4 \cdot g_{ш}, \quad (25)$$

где $g_{ш}$ - суммарная масса поворотных шарниров, тн.

7. Горизонтальное перемещение панели кранами:

$$T_{26} = 192 \cdot N_{кр.}, \quad (26)$$

где $N_{кр.}$ - количество монтажных кранов, участвующих в перемещении плоской панели.

8. Подъем панели в вертикальное положение:

$$T_{27} = 192 \cdot N_{кр.}, \quad (27)$$

9. Установка инвентарных стоек-подкосов:

$$T_{28} = (3 + 0,88 \cdot g_n) \cdot n_n \cdot K_n, \quad (28)$$

где g_n - суммарная масса подкосов, тн;

n_n - их количество, шт.;

$K_n = 1,5$ - коэффициент, учитывающий работу на высоте (с монтажным поясом).

10. Установка и снятие элементов жесткости:

$$T_{29} = 2 \cdot n_{ж} \cdot (3,9 + 0,53 \cdot g_{ж}) \cdot K_n, \quad (29)$$

где $n_{ж}$ - количество ферм жесткости; $g_{ж}$ - их

масса, тн; $K_n = 1,25$.

11. Установка стоек для укладки панелей после переноса:

$$T_{30} = 24 \cdot g_{ст.}, \quad (30)$$

12. Трудоемкость манипулирования лебедками:

$$T_l = 32 \cdot n_l, \quad (31)$$

Общая трудоемкость подъема, переноса и поворота панели в проектное положение:

$$T_{общ.} = (T_{21} + T_{22} + T_{23} + T_{24} + T_{24}^1 + T_{25} + T_{26} + T_{27} + T_{28} + T_l + T_{29} + T_{30}) \cdot K_m \cdot K_n, \quad (32)$$

где $K_m = 1,2$ - коэффициент, учитывающий местные условия;

$K_n = 1,3$ - коэффициент, учитывающий транспортные, вспомогательные, неучтенные операции.

В общем случае состав технологических операций при установке элементов межпанельного заполнения следующий:

1. Сортировка и подача элементов к месту подъема:

$$T_{под.} = 0,36 \cdot G_{с3}, \quad (33)$$

где $G_{с3}$ - масса стержней, тн.

2. Контроль размеров:

- длина между врезками, соосность;

- действительная длина связевого элемента, контроль геометрии торцов.

3. Установка направляющих скоб (по одной на каждый торец).

4. Строповка, регулировка наклона связи.

5. Подъем в проектное положение, установка между врезками узлов, устранение зазоров.

6. Приварка центровочных скоб.

7. Электроприхватка.

8. Сварка согласно принятой технологии.

Применительно к одному стержню, следовательно, можно записать совокупность аналитических выражений, отображающих количественно величину трудозатрат при выполнении вышеописанных операций.

Трудозатраты, связанные с сопутствующими операциями, предлагается определять согласно § 5-1-6 ЕНиР по формуле:

$$T_{31} = 1,5 \cdot (3,5 + 0,48 \cdot g_{с3}) \cdot K_m, \quad (34)$$

где $g_{с3}$ - масса элемента, тн.;

$K_m = 1,5$ - коэффициент, учитывающий повышение трудоемкости при работе с люлек и лестниц.

Имеем:

$$T_{31} = (5,25 + 0,72 \cdot g_{с3}) \cdot K_m, \quad (35)$$

Трудозатраты, связанные с оснащением одного стержня монтажными приспособлениями:

$$T_{32} = 4,1 \cdot K_m, \quad (36)$$

Оснащение навесными люльками и лестницами:

$$T_{33} = 4,4 \cdot K_m, \quad (37)$$

Постановка электроприхваток:

$$T_{34} = 0,16 \cdot \sqrt{(g_{с3} / L_{с3})}, \quad (38)$$

где $g_{с3}$ - масса монтируемого стержня; $L_{с3}$ - его длина, м.

Итого общая трудоемкость монтажа элемента межпанельного заполнения без учета сварочных работ по полной стыковке элементов:

$$T_{35} = (13,71 + 0,72 \cdot g_{c3} + 0,16 \cdot \sqrt{(g_{c3} / L_{c3})}) \cdot K_M, \quad (39)$$

Применительно ко всем стержням межпанельного заполнения можно записать:

$$T_{\text{сумм. под.}} = 0,36 \cdot G_{c3} \cdot K_M, \quad (40)$$

$$T_{31} = 1,5 \cdot (3,5 \cdot n_{c3} + 0,48 \cdot G_{c3}) \cdot K_M, \quad (41)$$

где n_{c3} - количество стержней основания, «не входящих» в панели, шт.;

G_{c3} - масса этих стержней, тн.

После преобразований можно записать:

$$T_{\text{сумм.}}^{34} = 0,16 \cdot \sqrt{(n_{c3} \cdot G_{c3} / L_{c3})} \cdot K_M, \quad (42)$$

где L_{c3} - средняя длина элемента межпанельного заполнения.

Суммарная трудоемкость установки и прихватки всех элементов межпанельного заполнения (без учета сварочных работ по полной стыковке):

$$T = (13,71 \cdot n_{c3} + 1,08 \cdot G_{c3} + 0,16 \cdot \sqrt{(n_{c3} \cdot G_{c3} / L_{c3})}) \cdot K_M \cdot K_L \quad (43)$$

где n_{c3} - количество стержней «не входящих» в панели, шт.;

G_{c3} - масса этих стержней, тн.;

$K_L = 1,3$ - коэффициент, учитывающий вспомогательные, транспортные и неучтенные операции.

При разработке методики определения себестоимости заводского изготовления глубоководных морских платформ использованы данные по лимитной цене для ГМП №7, изготовленной на Бакинском заводе СГО (ЦНИИПСК, 5Ф-5617-7 КМ П, Альбом 7).



Рис. 4. Блок-схема выполнения расчета трудоемкости и себестоимости заводского изготовления стационарных глубоководных оснований по укрупненной методике

Для определения производственной себестоимости изготовления при выборе и обосновании конструктивного решения предлагается формула:

$$C_n = 1,03 \cdot (C_{\text{ом}} \cdot G + a \cdot T \cdot (1 + K_n)), \text{ у.е.} \quad (44)$$

где $C_{\text{ом}}$ - удельная стоимость основных и вспомогательных материалов, у.е./тн.;

a - среднечасовая основная и дополнительная заработная плата рабочих основных специальностей, у.е./час.;

T - трудоемкость заводского изготовления опорного блока (основания), чел.-час.

K_n - накладные расходы на зарплату основных рабочих;

G - масса основания, тн.

Стоимость основных и вспомогательных материалов включает в себя затраты на приобретение листовой и профильной стали, сварочных материалов, антикоррозионной защиты, лакокрасочных материалов с учетом неучтенных материалов и проч.

Рассмотрим реальный пример определения себестоимости заводского изготовления основания применительно к блоку №7. На период времени изготовления глубоководного основания №7 величина среднечасовой зарплаты составляла 1,717 у.е./час, коэффициент накладных расходов: 7,3. Масса основания 26822 тн. Трудоемкость заводского изготовления основания, определенная вышеизложенными средствами математического моделирования составила 1398718 чел.-час. Тогда производственная себестоимость изготовления составит:

$$C_n = 1,03 \cdot (326,5 \cdot 26822 + 1,717 \cdot 1398718 \cdot (1 + 7,3)) = 29511,4 \text{ тыс у.е.}$$

По калькуляционному расчету, выполненному в ОТИЗМ ЦНИИ проектстальконструкция им. Мельникова, получена производственная себестоимость 29546 тыс у.е., то есть расхождения в пределах точности расчетов.

Выводы:

1. На основании проведенных исследований разработана укрупненная математическая модель заводского производства стационарных глубоководных оснований.

2. На основании полученной математической модели разработана укрупненная методика, предназначенная для расчета технико-экономических показателей заводского изготовления стационарных глубоководных оснований на ранних стадиях проектирования, без применения ЭВМ.

Список использованной литературы:

1. Патон Е.О. Конструктивный коэффициент и таблицы веса железнодорожных мостов / Евгений Оскарович Патон. – К.: Издание политехнического института, 1902. – 58 с.
2. Лихтарников Я.М. Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций/ Яков

Моисеевич Лихтарников. – М.: Стройиздат, 1979. – 319 с.

3. Лихтарников Я.М. Исследование основных технико-экономических показателей стальных конструкций и определение их в процессе проектирования / Я.М. Лихтарников // Мат. по стальн.констр.-м. Вып. №9. –М.: Стройиздат, 1965. – С. 38-59.

4. Лихтарников Я.М. Металлические конструкции. Методы технико-экономического анализа при проектировании / Я. М. Лихтарников. –М.: Стройиздат, 1968. – 383 с.

5. Соколов А.Г. Проблемы прочности конструкций для добычи нефти и газа на континентальном шельфе / А.Г. Соколов // Конструктивная прочность и разрушение. Материалы ГКНТ. Вып. №5. – М.: Стройиздат, 1981. - С. 15-25.

6. Кузнецов А.Ф. Исследования технико-экономических показателей изготовления строительных конструкций из малоуглеродистой и низколегированной стали / А.Ф. Кузнецов // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1981. - №11. – С. 31 – 38.

7. Ладыженский Д.В. Исследование конструкций одноэтажных промышленных зданий из сталей повышенной и высокой прочности и установление областей их рационального применения: дис.. кандидата технических наук: 05.23.01. / Ладыженский Давид Валентинович. – Донецк., 1971. - 226 с.

8. Осыка В.И. Исследование технико-экономических показателей башенных металлоконструкций и разработка методики для оптимизации их в процессе проект-я: автореф. дис. на соискание ученой степени к.т.н. – Донецк, 1970. – 25 с.

9. Лихтарников Я.М. Техничко-экономические основы проектирования строительных конструкций: учеб. пособие для вузов / Я.М. Лихтарников, Н.С. Летников, В.Н. Левченко. – Киев-Донецк: Вища школа, 1980. – 240 с.

10. Парамонов Ф.И. Моделирование процессов производства / Федор Иванович Парамонов. – М.: Машиностроение, 1984. – 232 с.

11. ЭВМ уходит в завтра // Наука и жизнь. – 1985. - №8. – С. 18 – 19.

12. Ладыженский Д.В. Пути снижения трудоемкости и себестоимости заводского изготовления специальных металлоконструкций опорных блоков глубоководных морских платформ / Д.В. Ладыженский, В.И. Шушкевич // Тезисы докл. Третьей Украинской республиканской НТК по металлическим конструкциям: Перспективы развития и пути повышения эффективности применения легких и особо легких металлических конструкций (октябрь, 1984). – Киев, 1984. – С. 79 -80.

Шушкевич В.І. ВИЗНАЧЕННЯ ТРУДОМІСТКОСТІ Й СОБІВАРТОСТІ ЗАВОДСЬКОГО ВИГОТОВЛЕННЯ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ СТАЦІОНАРНИХ ГЛИБОКОВОДНИХ ОСНОВАНІЙ МОРСЬКИХ ПЛАТФОРМ ЗАСОБАМИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

У статті описуються основні етапи побудови укрупненої математичної моделі заводського виготовлення металлоконструкцій стаціонарних глибоководних основаній морських платформ для видобутку нафти й газу. На основі отриманої моделі розроблена укрупнена методика, яка призначена для розрахунку трудомісткості й собівартості заводського виготовлення стаціонарних глибоководних основаній на ранніх стадіях варіантного проектування.

Ключові слова: *трудомісткість й собівартість заводського виготовлення металлоконструкцій, опорні блоки стаціонарних глибоководних основаній для видобутку нафти й газу, укрупнена математична модель заводського виробництва для стадії варіантного проектування.*

SHUSHKEVYCH V. DEFINITION OF THE LABOUR PLACING AND PRIME COST OF THE PRODUCT FABRICATION OF THE METAL STRUCTURES OF THE JACKETS OF THE DEEP-WATER PLATFORM BY MEANS OF MATHEMATICAL MODELLING

During first stage of design of any new construction forms of the jackets of the deep-water platform for oil and gas recovery designer has not detailed information about many parameters of such jackets. Usually he has only most general information, such as: the weight of this system, general amount of the linear elements, joint connections and other. Consequently he has not possibility to realize direct and detailed calculation of real price of fabrication and installation for every variants of developed jackets. And using of any computers program also is impossible, because for realization their algorithms we need very detailed information concerning many jacket's parameters. But creators of different system of jackets have necessary to select most effective (in economic sense) variant of the metal structures even during early stage of creation. Therefore they need such type of methodic for analyzing of economic efficiency, which have very simple entrance parameters. This idea (for usual metal structures) was suggested by professor J.M. Lickhtarnickoff and he was founder of domestic scientific school of economic analyzing of metal structures. And the suggested method, based on the simple mathematic model of plants fabrication of such specific metal structures, is the next step of development of this school. For creation of this model was necessary to describe (mathematical-ly) full technological process of fabrication of all elements of the jacket at the real plant. For this goal the Azerbaijan's (in Baku) plant of fabrication of the deepwater metal structures was selected. Most modern

technology of fabrication of different type jackets for deep-water platform was realized at this plant. During several years the detailed mathematical description of all technological processes and operation was created.

In the article the basic stages of creation of the integrated mathematical model of factory manufacturing of metal structures of the jackets of the stationary deep-water platform for oil and gas recovery are described. On the basis of the received model the integrated technique intended for calculation of labour placing and the prime cost of factory manufacturing of the jackets of the deep-water platform at early stages of alternative designing is developed.

Keywords: *complexity and cost of prefabricated steel structures, basic blocks based stationary deep for oil and gas, bigger mathematical model of factory production stage for variant design.*

Дата надходження в редакцію: 15.10.14 р.

Рецензент: к.т.н., професор Душин В.В.