

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРУБОУКЛАДОЧНЫХ СУДОВ МЕТОДОМ РЕЛАКСАЦИЙ

Решается задача оптимизации методом релаксаций некоторых технологических характеристик трубоукладочных судов с корпусом понтонного типа и с S-образным способом укладки подводного трубопровода: скоростей протяжки и сварки стыков трубопровода на технологической линии.

Освоение месторождений нефти и газа на шельфе Украины является одной из важнейших задач развития топливно-энергетического комплекса страны, что также требует решения проблемы транспортировки углеводородов на материк. Как показывает международный опыт, наиболее перспективный вид транспорта для этих целей – трубопроводный

Укладка морских подводных трубопроводов (ПТ) осуществляется как традиционными способами, применяемыми при строительстве переходов через крупные водные преграды (протаскиванием, свободным погружением) так и с трубоукладочных судов (ТУС). Наиболее распространена прокладка морских трубопроводов по S-образной кривой с ТУС, которые имеют корпус понтонного типа. На них трубы или секции труб свариваются в непрерывную плетель, которая по специальному поддерживающему устройству – стингеру опускается на дно.

Создание ТУС в Украине затруднено отсутствием достаточного опыта в их проектировании и постройке, а также малым количеством опубликованных работ, необходимых для рационального проектирования судов такого типа, что объясняется закрытостью информации по ТУС зарубежной постройки. Поэтому решение вопросов, связанных с разработкой теоретических основ проектирования судов данного типа, представляется весьма значимой.

Целью статьи является решение задачи оптимизации некоторых технологических характеристик ТУС: скоростей протяжки и сварки стыков трубопровода на технологической линии.

Общее выражение для определения эксплуатационных расходов определяющих полную себестоимость постройки подводного трубопровода имеет вид [1]

$$C_m = (U_{zc} + C_{mi} + U_{pmo} + U_{np}) \cdot L_c + (U_{mp} + a_n + U_a) \cdot K_m + \\ + (U_{znn} \cdot n_{nz} + U_{znc} \cdot n_{cz} + U_{mz} \cdot N_z \cdot k_{zsz} + U_{om} \cdot (n_c + n_n) + k_{z,всп} \cdot U_{всп} \cdot N_{всп}) \cdot T_z + \\ + (U_{zn} \cdot n_{nz} + U_{mz} \cdot N_z \cdot k_{zsn} + k_{z,всп} \cdot U_{всп} \cdot N_{всп}) \cdot T_{nz} + \\ + (U_{mz} \cdot N_z \cdot (k_{zsp} \cdot k_{gz} - k_{zsz}) - U_{znc} \cdot n_{cz}) \cdot T_{pab} + \sum_{i=1}^m C_{phi} \cdot t_{pabi} + C_k, \quad (1)$$

где U_{zc} – отчисления на сдельно-премиальную систему оплаты труда в процессе укладки трубопровода приходящиеся на единицу длины уложенного ПТ, USD/км; C_{mi} – стоимость единицы длины свариваемого трубопровода а также сварочной проволоки, флюса, изоляционных материалов, фотопленки и т.п., приходящихся на единицу длины ПТ в процессе его монтажа, USD/км; U_{pmo} – отчисления на износ и ремонт технологического оборудования приходящиеся на единицу длины уложенного ПТ; определяются по соответствующим нормативам, USD/км. U_{np} – норма прочих расходов например затраты на содержание вспомогательного флота, на культурно-массовую работу и т.д., USD/км; U_{mp} – норма затрат на текущий ремонт, определяется по соответствующим нормативным актам; a_n – норма навигационных расходов U_a – норматив отчислений на амортизацию; U_{znn} – средняя заработная плата на одного члена экипажа в сутки находящегося на повременно-премиальной системе оплаты труда, USD/чел·сут; U_{znc} – гарантийная заработная плата на одного члена экипажа в сутки находящегося на сдельно-премиальной системе оплаты труда, в период простоя ТУС, USD/чел·сут; n_{nz} , n_{cz} – численность экипажа соответственно находящегося на повременно-премиальной и сдельно-премиальной системе оплаты труда, чел; U_{mz} – стоимость топлива и смазочных материалов, приходящихся на единицу мощности главного дизель-генератора в сутки, USD/кВт·сут; N_z – мощность главного дизель-генератора, кВт; k_{zsz} – коэффициент загрузки главного дизель-генератора в эксплуатационный период, когда не производится укладка трубопровода U_{om} – норма расходов на охрану труда, USD/чел·сут; n_c , n_n – численность экипажа, соответственно судового и производственного чел; $k_{z,всп}$ – коэффициент загрузки вспомогательных механизмов, обслуживающих общесудовые нужды; $U_{всп}$ – стоимость топлива и смазочных материалов, приходящихся на единицу мощности вспомогательных механизмов, обслуживающих общесудовые нужды за одни сутки, USD/кВт·сут; $N_{всп}$ – мощность вспомогательных механизмов, обслуживающих общесудовые нужды, кВт; U_{zn} – средняя зарплата на одного члена экипажа в неэксплуатационный период, USD/чел·сут; n_{nz} – численность экипажа, находящегося на судне в неэксплуатационный период, чел; k_{zsn} – коэффициент загрузки главного дизель-генератора в неэксплуатационный период; k_{zsp} – коэффициент загрузки главного дизель-генератора в процессе укладки трубопровода k_{gz} – коэффициент, учитывающий мощность вспомогательных механизмов, обеспечивающих технологический процесс, в долях от мощности главного дизель-генератора; C_{phi} – фрахтовая ставка по каждому типу обслуживающих судов, USD/сут; t_{pabi} – время непосредственной работы по обслуживанию ТУС каждым судном, сут; m – общее число обслуживающих судов C_k – косвенные расходы, USD.

L_z – годовая производительность ТУС, км [2]

$$L_z = \frac{86,4 \cdot l_0 \cdot (n_{\text{вмл}} + 1) \cdot T_{\text{раб}}}{\frac{l_0 \cdot (n_{\text{вмл}} + 1)}{V_{\text{пр}}} + \pi \cdot d \cdot \left(\frac{1}{V_{\text{св}}} + \frac{1}{V_{\text{обр}}} \right) + t_{\text{всп}} + t_{\text{нм}}}, \quad (2)$$

где l_0 – начальная длина секции свариваемого трубопровода, м; $n_{\text{вмл}}$ – количество вспомогательных технологических линий; $T_{\text{раб}}$ – время непосредственной работы технологической линии за эксплуатационный период, сут; d – диаметр свариваемой трубы, м; $V_{\text{пр}}$ – скорость протяжки трубопровода зависит от основных характеристик принятых якорных лебёдок, м/с; $V_{\text{св}}$ – скорость сварки, м/с; $V_{\text{обр}}$ – скорость обработки шва м/с; $t_{\text{всп}}$ – вспомогательное время, с; $t_{\text{нм}}$ – время подачи трубы на центровочный стол и её центровки, с; T_z – эксплуатационное время, сут; $T_{\text{нэ}}$ – неэксплуатационное время, сут.

Среднесерийная стоимость постройки ТУС определяется по формуле [3]

$$K_m = \rho \cdot K_c + (K_{\text{пр}} + K_{\text{осн}}) / n_p, \quad (3)$$

где ρ – коэффициент перехода от стоимости серийно освоенного ТУС к среднесерийной строительной стоимости, $\rho = 1,10 \dots 1,29$; K_c – стоимость серийно освоенного ТУС, USD, определяется из выражения $K_c = k_{\text{мз}} \cdot c_{\text{о.к}} \cdot P_{\text{о.к}} + k_{\text{мз}} \cdot c_{\text{м.о}} \cdot P_{\text{м.о}} + c_{\text{э.у}} \cdot N_{\text{э.у}} + k_{\text{мз}} \cdot c_{\text{м.о}} \cdot P_{\text{м.о}} + K_p$, здесь $k_{\text{мз}}$ – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, $k_{\text{мз}} = 1,06$ – покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, $k_{\text{мз}} = 1,12$ – материалы; $c_{\text{о.к}}$ – измеритель стоимости укрупнённой конструктивной группы «оборудованный корпус», USD/т; $P_{\text{о.к}}$ – масса укрупнённой конструктивной группы «оборудованный корпус», т; $c_{\text{м.о}}$ – измеритель стоимости укрупнённой конструктивной группы «технологическое и крановое оборудование», USD/т; $P_{\text{м.о}}$ – масса укрупнённой конструктивной группы «технологическое и крановое оборудование», т; $c_{\text{э.у}}$ – измеритель стоимости конструктивной группы «энергетическая установка», USD/кВт; $N_{\text{э.у}}$ – максимальная мощность конструктивной группы «энергетическая установка», кВт; $c_{\text{м.о}}$ – измеритель стоимости укрупнённой конструктивной группы «механическое оборудование и трубопроводы машинно-котельного отделения», USD/т; $P_{\text{м.о}}$ – масса укрупнённой конструктивной группы «механическое оборудование и трубопроводы машинно-котельного отделения», т; K_p – стоимость укрупнённой группы «работы», USD; $K_{\text{пр}}$ – стоимость проектирования, USD. На начальных стадиях проектирования данную величину можно определить по нормативам предприятия п/я Г-4711 299043-40-Н-78:

$K_{\text{пр}} = 27,3 \cdot \Delta^{0,5} \cdot \left(\sum_{i=1}^n k_i \right) / n$, USD, здесь k_i – нормативные коэффициенты, учитывающие новизну и сложность проектируемого судна, $k_i = 0,85 \dots 1,22$; $K_{\text{осн}}$ – стоимость оснастки и приспособлений для постройки судна, USD; n_p – расчётное число судов в серии.

Существует достаточно много критериев оптимальности – критерии приведённых и дисконтированных затрат, эквивалентной процентной ставки, выравненной процентной ставки дохода (EiRR), капитализированных расходов (CC), вновь созданной стоимости (NPV) и др. [4]. Многочисленность критериев объясняется большим разнообразием условий постройки и эксплуатации судов. Выбор критерия для оценки сравнительной эффективности зависит от многих экономических факторов и является довольно сложной задачей, которая не ставится в данной работе.

В качестве функции цели (критерия оптимальности) при проектировании ТУС примем минимум приведённых затрат на единицу длины укладываемого на дно моря ПТ [5]

$$ПЗ = \frac{C_m + E_n \cdot K_m}{L_z} \rightarrow \min, \quad (4)$$

где $E_n = 0,15$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений

Рассмотрим задачу оптимизации скоростей протяжки ПТ, $V_{\text{пр}}$; сварки стыков ПТ на технологической линии, $V_{\text{св}}$; длины укладываемой секции ПТ, l_0 .

Величину годовой производительности ТУС с учётом (2) при изменении только одной из характеристик определим по формуле

$$L_z = b_1 / (b_2 + b_3/x). \quad (5)$$

Величину эксплуатационных расходов ТУС с учётом (1) – из выражения

$$C_m = c_1 \cdot f_1(L_z(x)) + c_2 \cdot f_2(N_z(x)) + c_3. \quad (6)$$

Величину строительной стоимости ТУС с учётом (3) – из выражения

$$K_m = d_1 \cdot f_3(L_z(x)) + d_2 \cdot f_4(N_z(x)) + d_3. \quad (7)$$

В формулах (5) – (7): x – варьируемый параметр; b_i , c_i , d – константы, определяемые для всех вариантов ТУС при одинаковых условиях.

Для наглядности анализа рассмотрим доход, годовую производительность и годовые эксплуатационные расходы конкретного судна ТУС "Сулейман Визиров", построенного в Нидерландах (контракт 77.115209-129) по классу **BV** – Bureau Veritas, принадлежащего в настоящее время Азербайджану.

Оптимальное значение длины укладываемой секции ПТ, как показали расчёты (см. приложение В), составило $(l_0)_{\text{опт}} = 14,65$ м при $ПЗ_{\text{мин}} = 148332,8$ USD/км. Промышленностью выпускаются трубы длиной 12 м, поэтому приходится принимать приведенные затраты не минимальными, а соответствующими ограниченному экстремуму функции цели, т.е. при определении других оптимальных значений принимаем $l_0 = 12$ м.

На рисунке 1 изображены графики, отображающие определение минимальных приведенных затрат ТУС методом релаксаций при вариации двух параметров: скоростей протяжки ПТ: $ПЗ = f(V_{\text{пр}})$ и сварки стыков ПТ на

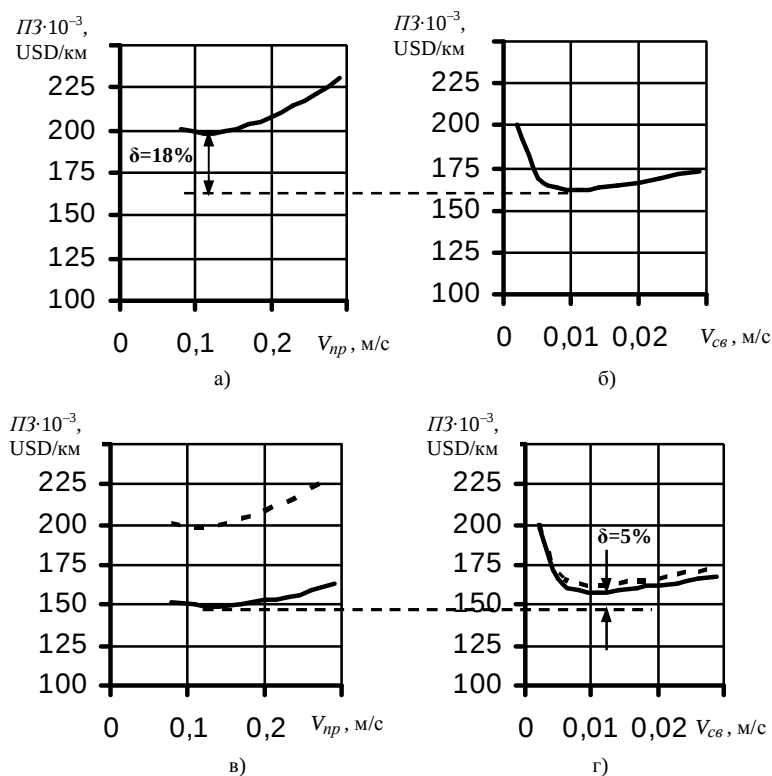


Рисунок 1 – Определение оптимальных значений методом релаксаций:

а – скорости протяжки ТУС в первом приближении; б – скорости сварки ПТ в первом приближении; в – скорости протяжки ТУС во втором приближении; г – скорости сварки ПТ во втором приближении

технологической линии: $\Pi З = f(V_{св})$, из которых следует, что оптимальные значения искомых величин при их определении в первом приближении соответственно равны: $(V_{нр})_{opt} = 0,12372$ м/с при минимальных приведенных затратах $\Pi З_{min} = 198450,9$ USD/км; $(V_{св})_{opt} = 0,01077$ м/с при минимальных приведенных затратах $\Pi З_{min} = 162041,8$ USD/км. Оптимальные значения искомых величин при их определении во втором приближении соответственно равны: $(V_{нр})_{opt} = 0,1232$ м/с при минимальных приведенных затратах $\Pi З_{min} = 149277$ USD/км; $(V_{св})_{opt} = 0,01137$ м/с при минимальных приведенных затратах $\Pi З_{min} = 158282,7$ USD/км.

Поскольку изменения приведенных затрат в последующих приближениях не выходят за пределы установленной точности в $\pm 5\%$, то необходимость в дальнейших приближениях отпадает.

Выводы

1. Предложенная оптимизационная модель процесса воздействия технологических характеристик трубоукладочных судов (скоростей сварки стыка трубопровода и протяжки секции трубопровода) на его экономические показатели может быть использована при разработке технического задания на проектирование трубоукладочного судна.
2. В дальнейших исследованиях предполагается установить зависимости между экономическими показателями трубоукладочного судна и техническими характеристиками его якорно-швартовой системы.

Библиографический список

1. Железняк В.Г. Уравнение годовых эксплуатационных расходов трубоукладочного судна / В.Г. Железняк, Г.В. Лекарев, А.И. Раков // Применение математических методов в проектировании судов для освоения шельфа: Сб. науч. тр. ВСНТО им. акад. А.Н. Крылова. — Севастополь, 1989. — Вып. 1. — С. 4–8.
2. Лекарев Г.В. Методика выбора количества вспомогательных технологических линий при проектировании трубоукладочных судов / Г.В. Лекарев // Методы и модели интенсификации производства: Сб. науч. тр. — К., 1988. — С. 144–147.
3. Краев В.И. Экономические обоснования при проектировании морских судов / В.И. Краев. — Л.: Судостроение 1981. — 280 с.
4. Соколов В.П. Постановка задач экономического обоснования судов / В.П. Соколов — Л.: Судостроение 1987. — 164 с.
5. Раков А.И. Оптимизация основных характеристик и элементов промысловых судов / А.И. Раков. — Л.: Судостроение 1978. — 232 с.

Поступила в редакцию 29.05.2006 г.