Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
1985, т. 105

УДК 622.24.053 (088.8)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОДВОДНОГО БУРОВОГО СТАНКА

В.Я.КИПОВСКИЙ, И.Г.ШЕЛКОВНИКОВ, С.О.КОЧЕТОВ

Область использования подводной буровой техники объективно определяет необходимость комплексной механизации и автоматизации всех звеньев технологического процесса бурения морской геолого-разведочной скважины. Технологический процесс бурения скважины состоит из трех основных циклов: операции по углубке скважины (непосредственно бурение); сборки – разборки бурильного вала (спуско-подъемные операции); керноизвлечения. Первый цикл принципиально отличается от двух других, так как носит вероятностный характер, т.е. может изменяться во времени в зависимости от свойств проходимых пород. Управление этим процессом невозможно осуществить по жесткой, заранее заданной программе. Здесь первый цикл операций не рассматривается.

Циклы операций сборка – разборка бурильного вала и керноизвлечение состоят из большого, но определенного количества элементарных операций, постоянно повторяющихся во времени. Изменяется лишь энергетическая характеристика некоторых из них, что связано с изменением массы бурильной колонны, сил сопротивления ее перемещению, условиями развинчивания резьб, массой и составом керна, износом инструмента и т.п. Таким образом, эти циклы являются детерминированными и управление ими можно осуществлять по жесткой дискретной программе.

Анализ конструкций известных подводных буровых станков (ПБС) позволяет сделать вывод, что конструктивная схема установки, ее энергетические и экономические показатели определяются главным образом принятой структурой технологического процесса, на которую сильно влияют способы кассетирования бурильных труб и доставки инструмента из зоны складирования на ось скважины. При работе ПБС все операции осуществляются его механизмами, охваченными автоматической связью. Таким образом, очевидно, что создание рациональной буровой системы возможно только на основе изучения и оптимизации комплекса машина – система действий, с целью достижения его максимальной гармоничности.

Группой морского бурения ЛГИ ведутся работы по созданию подводного кассетного бурового станка для разведочного бурения на шельфе (ПКБС)[x]. Установка (рис.I) состоит из основания I, на котором размещена обойма 3.

[x] А.с. № 1059115 (СССР).

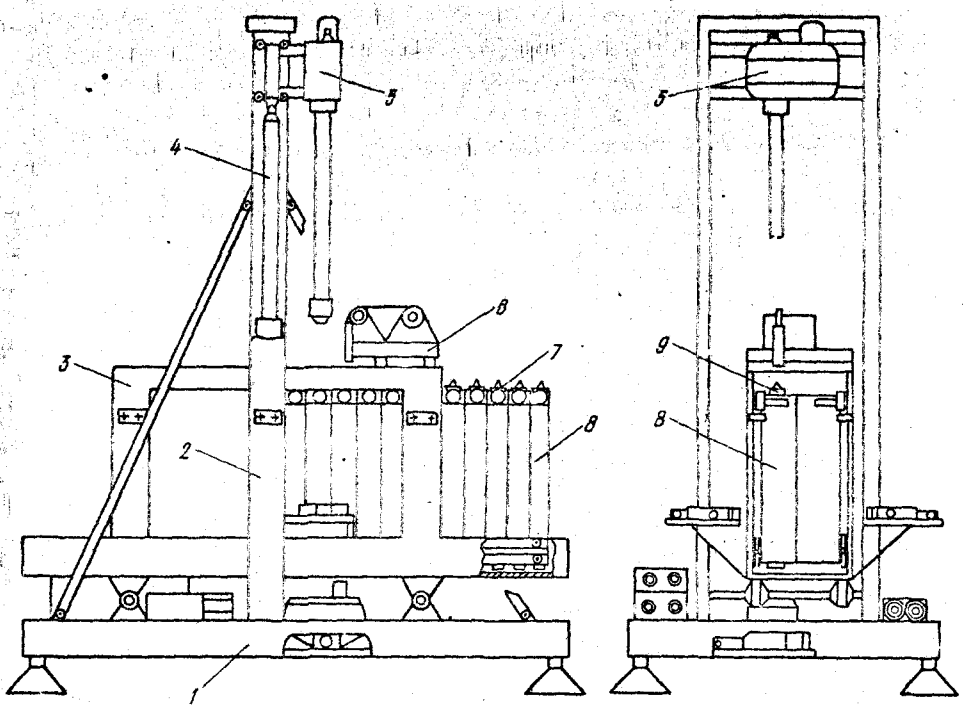


Рис.1. Подводный кассетный буровой станок конструкции ЛГИ

В обойме по направляющим перемещается линейная двухсекционная кассета 8. Одна секция кассеты предназначена для размещения бурильных труб 9 и съемных керноприемников 7, вторая – для приема бурильных труб в процессе разборки бурильного вала по завершении бурения. В установке использован вращатель 5 подвижного типа; механизм его подачи включает два гидроцилиндра 4, установленных в опорах мачты 2. Для извлечения керноприемников служит узел извлечения 6.

В ЛГИ также разрабатывается методика определения и расчета основных параметров подводной буровой автоматической системы; оценки эффективности комплекса машина – система действий на основе анализа технологической структуры циклов сборка – разборка бурильного вала и керноизвлечение.

Оптимизация технологических процессов в настоящее время ведется главным образом за счет сокращения времени циклов, числа элементарных операций и длины рабочих ходов. Эти показатели лежат в основе количественной оценки технологических процессов. Однако на этой основе невозможно охарактеризовать энергетические показатели технологических циклов, их связь с машинными средствами реализации, выделить факторы, определяющие ход процесса и параметры машины, выяснить какие параметры являются основными и определить исходные данные для проектирования этих параметров.

В основу разрабатываемой методики положен праксеологический подход, т.е. анализ эффективности совершаемых объектом технологических действий.

Для рассматриваемых циклов процесса бурения (сборка – разборка бурильного вала и керноизвлечение) выделяются группы и типы основных действий, т.е. технологические операции, присущие рассматриваемым циклам независимо от степени механизации и автоматизации производства, типа оборудования и технологической структуры циклов. По целевому принципу все основные действия рассматриваемых циклов делятся на три группы (рис.2).

Каждое основное действие характеризуется своей целью C, результатом W и качеством результата σ_W. Цель действия – предвиденный максимально возможный эффект; результат – положительно оцениваемый достигнутый эффект; качество результата $\sigma_W = W/C$.

Количественно цель действия определяется из условия, что его реализация должна осуществиться с минимальными затратами ресурсов. Описание цели действия является по сути его математической моделью, в основе которой может быть выражение количества движения совершаемого действия или его энергетическая характеристика. Такое рассмотрение целесообразно в связи с тем, что включает в себя наряду с энергетическими и временную характеристику действий.

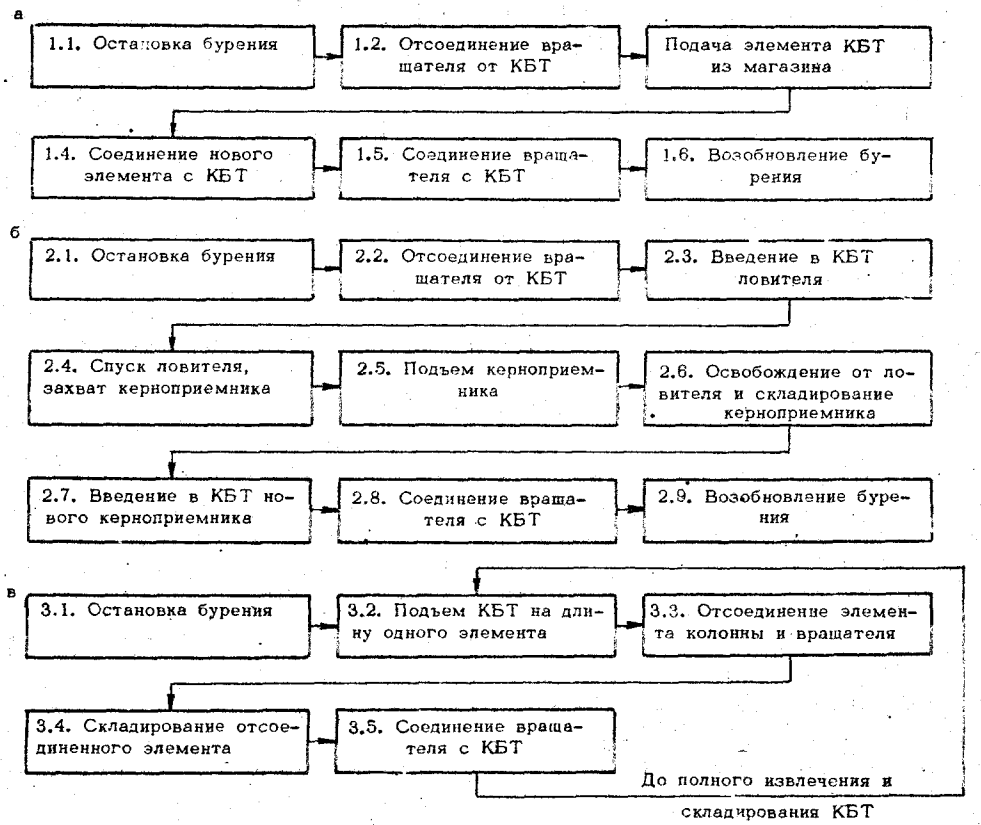


Рис.2. Система основных действий циклов наращивания-разбивки бурильного вала и керноизвлечения: а – наращивание колонны; б – извлечение керна; в – извлечение колонны КБТ – колонна бурильных труб

Таким образом, эффект действия $\varepsilon = 1/E$, где E – затраты потребляемых энергетических ресурсов. Цель и результат действия $C = \varepsilon_C = 1/E_C$; $W = \varepsilon_W = 1/E_W$, где ε_C – эффект технологического действия; E_C – минимально возможные энергетические затраты при совершении действия без учета способа его машинной реализации; ε_W и E_W – соответственно реально достигнутый эффект и реальные (с учетом способа машинной реализации) энергетические затраты при совершении действия. Качество результата $\sigma_W = E_C/E_W$.

При описании цели действия C как максимально возможного эффекта рассматриваются затраты энергии без учета способа его машинной реализации. Таким образом, E_C будет некоторой функцией от параметров объекта оперирования А, Б, В, ..., N (свеча, колонна, керноприемник и т.п.), т.е. $E_C = F(А, Б, В, ..., N)$.

Естественно, что в зависимости от способа машинной реализации результат действия W будет иметь реальный эффект ε_W несколько ниже ε_C: $(1/E_W < 1/E_C)$, где $E_W = f(А, Б, В, ... N; a, б, в, ..., n)$; $a, б, в, ..., n$ – параметры машины, осуществляющей действия.

Выделим в качестве основной оптимизируемой величины для комплекса машина – система действий величину σ_W.

Для оценки рациональности избранной схемы осуществления основного действия необходимо ввести понятие внутренняя цель действия C'. Каждое из основных действий, необходимых для осуществления цели любой из трех групп (см. рис.2), требует для своего выполнения комплекса основных и вспомогательных операций. Состав и характер этих элементарных операций обусловлен общей схемой реализации основных действий. Каждая из элементарных операций в свою очередь требует для своего выполнения определенных энергетических затрат.

В качестве примера рассмотрим основные действия I.3 – I.5 первой группы, реализуемые ПКБС. Действия выполняются по следующей схеме. Магазин-податчик 8, перемещаясь, выводит очередную трубу 9 на ось скважины. Ведущая штанга вращателя 5 свинчивается с новым элементом колонны. Выключаются фиксаторы трубы в магазине. Вращатель с навинченной трубой опускается до стыковки с верхним замком колонны. Новый элемент свинчивается с КБТ, после чего выключаются фиксаторы КБТ и процесс бурения возобновляется. Запишем операции выполнения основных действий I.3 – I.5.

I.3. Подача нового элемента колонны магазином-податчиком.

I.4.1. Спуск вращателя до совмещения резьбы ведущей штанги с замком нового элемента колонны.

I.4.2. Свинчивание.

I.4.3. Расфиксация нового элемента колонны в магазине.

I.5.1. Спуск вращателя до совмещения резьбовых частей нового элемента и КБТ.

I.5.2. Свинчивание.

I.5.3. Расфиксация КБТ в трубодержателе.

Таким образом, для выполнения указанных основных действий необходимо семь операций, из которых основными, т.е. совпадающими по цели с основным

действием, являются I.3.I; I.3.3 и I.3.6. Остальные операции вспомогательные. Очевидно, что цель действий I.3→I.5

$$C_{1.3\to1.5} = \varepsilon_{C_{1.3\to1.5}} = \frac{1}{\sum E_{C_{1.3\to1.5}}},$$

где $\sum E_{C_{1.3\to1.5}} = E_{C_{1.3.1}} + E_{C_{1.3.3}} + E_{C_{1.3.6}}$.

Внутренняя цель группы действий I.3→I.5.3

$$C'_{1.3\to1.5.3} = \varepsilon_{1.3...\to1.5.3} = 1/\sum E_{C_{1.3\to1.5.3}},$$

где $\sum E_{C_{1.3\to1.5.3}} = E_{C_{1.3}} + E_{C_{1.4.1}} + \ldots + E_{C_{1.5.3}}$.

Отношение величины $C_{1.3\to1.5}$ к величине $C'_{1.3\to1.5.3}$ является качеством цели группы действий I.3→I.5. В общем виде качество цели $\sigma_C = C'/C$. Это выражение описывает цель оптимизации разрабатываемой технологической схемы действий.

Из нескольких рассматриваемых вариантов комплекса предпочтительным является удовлетворяющий в большей степени условию

$$\lim_{C'_0 \to C_0} \sum_{i=1}^{i=n} \sigma_{C_i} = 1; \quad \lim_{E_{W_0} \to E_{C_0}} \sum_{i=1}^{i=n} \sigma_{W_i} = 1,$$

где σ_{C_i} – качество цели действий по всем группам операций; C_0, C'_0 – сумма целей действий и сумма внутренних целей по всем группам операций; E_{C_0} – конечный целевой эффект, $E_{C_0} = \sum_{i=1}^{i=n} E_{C_i}$; E_{W_0} – конечный достигнутый эффект, $E_{W_0} = \sum_{i=1}^{i=n} E_{W_i}$; σ_{W_i} – качество i-го действия системы действий с учетом способа машинной реализации; n – количество действий по всем группам системы.

В качестве примера рассмотрим основное действие подача нового элемента колонны на ось скважины. Упрощенное описание цели данного действия сводится к вычислению энергозатрат, эквивалентных кинетической энергии перемещения бурильной трубы на ось скважины. Исходные данные: масса трубы m = = I0 кг; диаметр 0,07 м. Допустим, что при машинной реализации действия используется гидропривод. В этой случае скорость перемещения ограничивается v = 3 м/с (из условия ламинарного движения жидкости в приводном гидроцилиндре).

Кинетическая энергия перемещающегося элемента колонны $E_C = 0{,}5mv^2$ = = 0,5·I0·9·9,8I = 44I Дж; $C = I/E$ = 0,0023 $Дж^{-I}$. Время операции T_C = = S/v = 0,07/3 = 0,023 с (здесь S – минимально возможный путь перемещения элемента колонны, равный его диаметру). Необходимая для выполнения операции мощность привода N_C = 44I/0,023 = I9I74 Вт.

Таким образом, получены энергетические характеристики операции при минимальном времени ее проведения. Осуществление действия возможно различными способами.

Рассмотрим подачу элемента колонны магазином податчиком ШБС. Исходные данные: масса снаряженной кассеты m' = 500 кг; ход кассеты S = = 0,I6 м; скорость подачи изначально принимается равной целевой, т.е. v = = 3 м/с. Тогда $E_{C'}$ = 0,5·500·9·9,8I = 22072 Дж; C' = 0,000045 $Дж^{-I}$; $T_{C'}$ = = 0,I6/3 = 0,053 с; N_C = 22072/0,053 = 4I6453 Вт. Качество цели σ_C = 0,02.

Итак, качество цели при значительных энергозатратах остается низким. При этом время операции ничтожно мало, что дает возможность скорректировать скорость перемещения, как параметр технологического процесса. Так, при скорости перемещения $v' = 0,42$ м/с: $E_{c'} = 0,5 \cdot 500 \cdot 0,18 \cdot 9,81 = 441$ Дж; $T_{c'} = 0,16/0,42 = 0,4$ с; $N_{c'} = 441/0,4 = 1102$ Вт; $\sigma_c = 1$.

Таким образом, принятый вариант проведения операции позволяет достичь высокого качества цели при снижении потребной мощности привода в 400 раз по сравнению с целевой и увеличении времени операции в 10 раз. При этом время операции остается сравнительно небольшим.

В качестве сравнения рассмотрим проведение той же операции при традиционном способе наращивания колонны, включающем следующие процессы: 1) подачу элеватора к бурильной трубе; 2) подъем элеватора до подхвата трубы за замок; 3) приподъем трубы в подсвечнике; 4) перенос трубы на ось скважины.

Сначала вычислим суммарную энергоемкость операций по следующим исходным данным: масса бурильной трубы $m_т = 10$ кг; масса элеватора $m_э = 30$ кг; скорость подачи элеватора к трубе $v_э = 1$ м/с; ход приподъема элеватора $h_э = 0,3$ м (при длине трубы $\ell = 1,5$ м); ход приподъема трубы $h_т = 0,4$ м; скорость подачи элеватора с трубой $v_{э.т} = 1$ м/с; ход прямой и обратной подачи элеватора $S_э = 2$ м; скорость подъема элеватора $v_{п.э} = 1,5$ м/с. Получим $\sum_{c'_2} = 0,5\, m_э v_э^2 + m_э g h_э + (m_э + m_т)\, g h_т + 0,5\, (m_э + m_т) v_{э.т} =$ $= 0,5 \cdot 30 \cdot 1 + 30 \cdot 9,81 \cdot 0,3 + 40 \cdot 9,81 \cdot 0,4 + 0,5 \cdot 40 \cdot 1 = 280,25 \cdot 9,81 = 2749$ Дж; $c' = 0,0004$ Дж$^{-1}$; $\sum T = 2 + 0,2 + 0,3 + 2 = 4,5$ с. Для выполнения данного действия необходима мощность привода, равная (по наиболее энергоемкой операции – приподъем трубы в подсвечнике) 5132 Вт. Тогда $\sigma_{c'_2} =$ $= 0,0004/0,0023 = 0,2$.

Анализ показал, что данная схема выполнения основного действия имеет низкий показатель качества цели при значительных затратах времени на проведение операций. Улучшение качества цели возможно лишь за счет дальнейшего снижения производительности.

Пример показывает, что использование предлагаемой методики позводяет не только выбрать наиболее рациональный способ проведения основного действия, но и определить технологические параметры его проведения (в данном случае скорость перемещения трубы). Величина c' для выбранной схемы реализации основного действия принимается за цель при обосновании способа машинной реализации. Конструкторское решение должно основываться на анализе энергозатрат для осуществления цели в различных возможных вариантах. При этом описание энергетики действий машины с учетом ее конструктивных параметров является количественным выражением результата.

Такой подход дает возможность при моделировании комплекса – машина – система действий обоснованно выбирать наиболее оптимальные технологические и конструктивные параметры объекта.