

Султанов Э.Ф., Абдуллаев А.Н.

ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ЧАСТОТНО-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ СУДОВЫХ БУКСИРНЫХ ЛЕБЁДОК

В статье проведен анализ основных преимуществ асинхронного привода частотного управления по сравнению с трёхскоростным асинхронным приводом судовой буксирной лебёдки.

Также в статье утверждается, что буксирная лебёдка управляемая частотным преобразователем имеет следующие преимущества: полное обеспечение предела и плавности регулирования скорости необходимой буксирной лебёдке; возможность автоматического управления устройства; надёжность; легкость эксплуатации.

Ключевые слова: судно, асинхронный двигатель, буксирная лебедка, преобразователь частоты, управление.

Введение. Как известно после перехода на переменный ток судовых электростанций, на современных судах палубные механизмы, в том числе буксирные лебедки были оснащены адаптированными к морским условиям 2÷3 скоростными асинхронными двигателями типа МАП. На буксирных судах, проводящих буксировку в открытом море, а также на спасательных и ледокольных судах для автоматизации буксирных лебёдок устанавливают дополнительные элементы. Первым из этих элементов является элемент, который измеряет тяговое усилие троса, который делится по конструкции на два вида:

1. Измерительное устройство с планетарной передачей;
2. Измерительный элемент, расположенный непосредственно на барабане с тросом.

Измерительный прибор, расположенный на барабане из-за особенности конструкции и сложности эксплуатации на судах используется редко. Элемент с планетарной передачей в автоматическом режиме работы в зависимости от тягового усилия не обеспечивает плавного регулирования скорости вращения двигателя. Работа такого датчика состоит только из пуска двигателя в определенном направлении [1, 2].

Основная часть. 2-ой элемент автоматической системы буксирной лебёдки – это устройство, которое передаёт значение измеренного усилия в цепь управления двигателя и способствует его автоматическому пуску. Обычно такие устройства называются датчиками системы автоматического управления.

Центральным элементом системы, измеряющая тяговое усилие является планетарная передача, установленная на редукторе, находящемся между двигателем и барабаном. Для изучения работы этих элементов, рассмотрим кинематическую схему автоматизированной буксирной лебёдки с планетарной передачей (рис. 1).

Основное зубчатое колесо (1) редуктора приводится в движение исполнительным (ИД) трёхскоростным асинхронным двигателем типа МАП. Вращающееся планетарное зубчатое колесо (4), передаёт вращение барабану с помощью прикрепленных к нему сателлитов. При заторможенном двигателе, тяговое усилие, действующее на барабан, поворачивает его на определенный угол. Этот угол поворота передаётся к прикреплённому к оси барабана зубчатому колесу и с помощью сателлитов на лицевой тормозной зубчатый кожух (2). Поворот этого кожуха на определённый угол изменяет натяжение или же сжатие пружины измерительного устройства (6). В статическом состоянии устройства, то есть при равенстве

тягового усилия троса заданному значению, сила тяги пружины создаёт равенство с тяговым усилием барабана. При изменении тягового усилия на барабане (например при увеличении) также изменяется состояние тормозного кожуха. Поворот тормозного кожуха является причиной растяжения пружины (6) измерительного устройства.

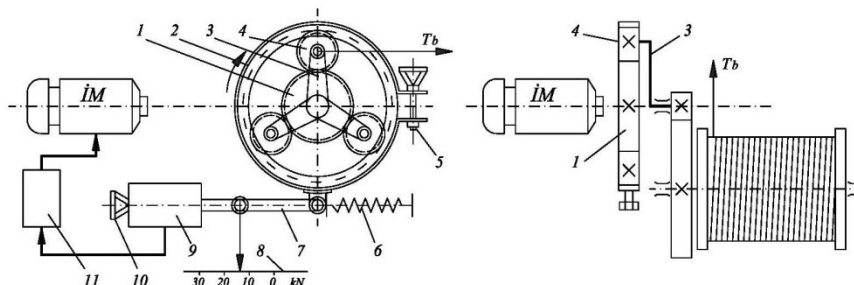


Рисунок 1 – Кинематическая схема автоматизированной буксирной лебёдки с измерительным устройством с планетарной передачей

Растяжение пружины (6) передаётся на показатель (8) и на контактный механический датчик (9) с помощью оси (7). С помощью маховика (10) задаётся постоянное значение тягового усилия. На датчике (9) расположены контакты, управляющие магнитной станцией (11) двигателя. При отклонении значения тягового усилия на барабане от заданного, разность тяговых усилий при этом воздействует на ось (7), которая перемещаясь закрывает определённые контакты датчика (9), этим самым получают питание катушки управления линейного контактора и одного из контакторов направления (травить и выбирать), расположенных в магнитной станции (11). Таким образом от воздействия датчика двигатель запускается в нужном направлении и тяговое усилие в тросе возвращаясь в первоначальное значение открывает закрытые контакты датчика, ток в обмотках закрытых контакторов прекращается, что приводит к остановке двигателя.

В настоящее время используемый в буксирной лебёдке трёхскоростной АД с короткозамкнутым ротором и его система управления имеет ряд недостатков. Среди них (можно показать) ступенчатое регулирование скорости, осуществление управления с помощью контакторов, большие массогабаритные показатели двигателя (так как на статоре расположены три трёхфазные обмотки) и самое главное, неспособность полного обеспечения регулировочной характеристики двигателя буксирной лебёдки. Для устранения этих недостатков разработана нижеприведённая автоматическая система.

В предложенной новой автоматической системе контактный датчик (9) был заменён дифференциальным трансформаторным датчиком, а контакторы магнитной станции заменили полупроводниковым частотным преобразователем (11) со звеном постоянного тока.

На рисунке 2 показана кинематическая схема такой автоматизированной буксирной лебёдки [1].

В кинематической схеме, показанной на рис 2. измерение тягового усилия на барабане как и на рис.1. осуществляется с помощью устройства с планетарной передачей. Только здесь прямолинейное движение оси (7) механически связанной с пружиной (6) и тормозным кожухом (2) передается не на механический контактный датчик, а на сердечник датчика дифференциального трансформатора. То есть, когда фактическое тяговое усилие в барабане отличается от заданного значения, то под действием разницы этих сил ось (7) приводит в движение сердечник датчика дифференциального трансформатора (9) и на выходной обмотке трансформатора наводится ЭДС. Под действием ЭДС на частотный преобразователь с широтно-импульсной модуляцией (11) электрический двигатель запускается в нужном направлении

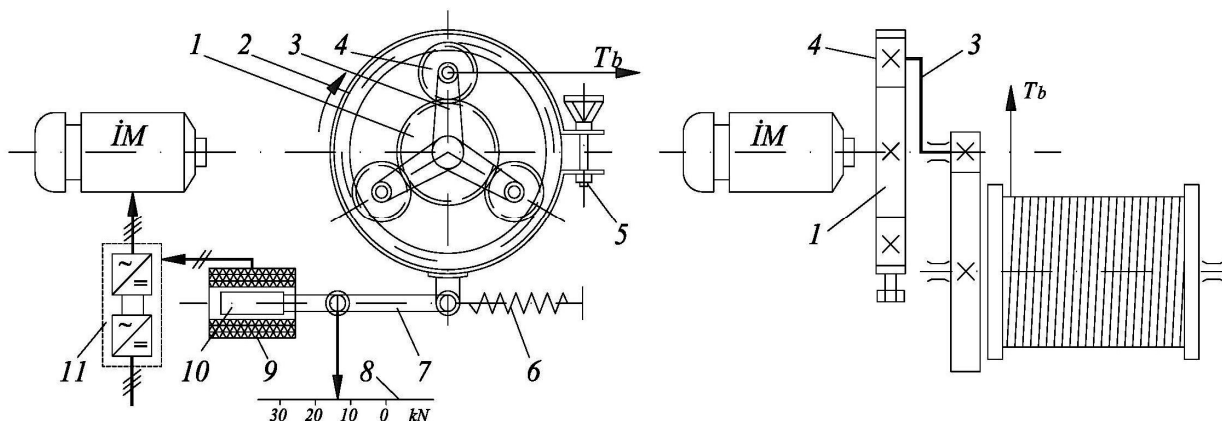


Рисунок 2 – Кинематическая схема буксирной лебёдки, управляемый с помощью частотного преобразователя

Датчик дифференциального трансформатора – это устройство, преобразующее прямолинейное движение в электрическое напряжение. Он состоит из двух двухсекционных обмоток (рис.3). Магнитная связь между первичной и вторичной обмотками может изменяться в зависимости от движения сердечника.

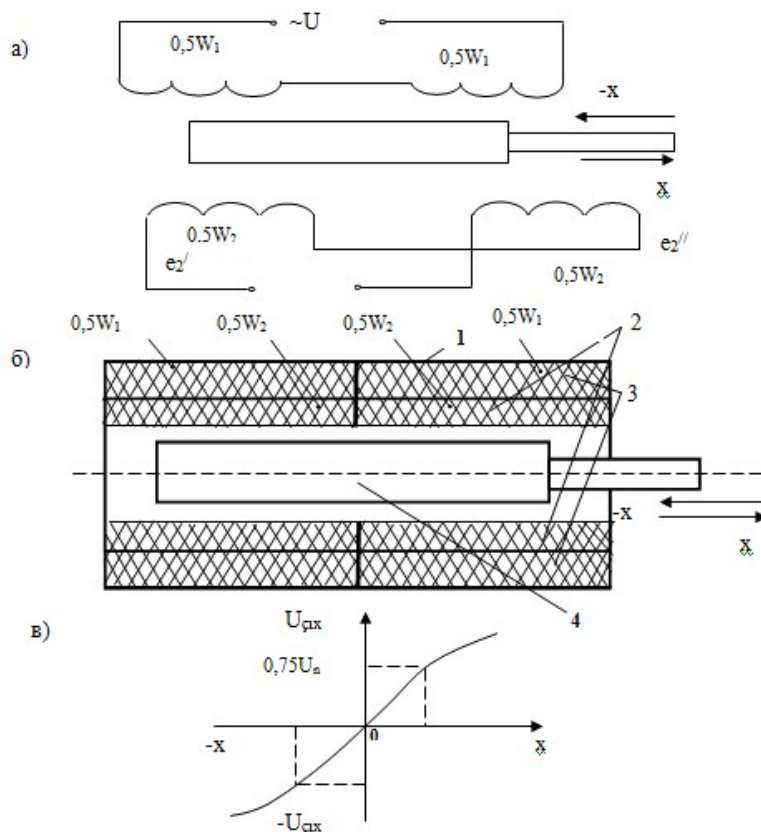


Рисунок 3 – Дифференциально-трансформаторный датчик:
(а) – схема соединения обмоток, (б) – конструктивная схема,
(в) – статическая характеристика

Если сердечник расположен относительно обмоток симметрично, то возникающие на вторичных обмотках равные друг другу, но противоположные по направлению ЭДС e_1 и e_2 , то выходное напряжение на вторичной обмотке $U_{\text{вых}} = 0$. Если перемещать сердечник в определенном направлении, то наводящиеся на обмотках ЭДС e_1 и e_2 не будут равны друг другу и на выходе вторичной обмотки напряжение будет равна разнице этих ЭДС.

Направление этого напряжения будет зависеть от направления, а значение от расстояния перемещения сердечника. Проведём сравнение регулировочных характеристик буксирной лебёдки с односкоростным асинхронным двигателем с частотным преобразователем с действующим трёхскоростным асинхронным двигателем буксирной лебёдки. Следует отметить, что в обоих вариантах применяют специально разработанный для палубных механизмов и имеющий большой пусковой момент, асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором типа МАП.

Односкоростной асинхронный двигатель (однообмоточный статор) буксирной лебёдки с частотным управлением [3]. Тип двигателя: МАП 521-4. Мощность: $P_n = 34 \text{ кВт}$. Номинальная скорость вращения: $n_n = 1445 \text{ об/мин}$.

Перегрузочная способность:

$$\frac{M_{\text{max}}}{M_n} = 2,5, \quad (\lambda = 2,5);$$

$$M_n = 9,81 \frac{P_n \cdot 975}{n_n} = 9,81 \frac{34 \cdot 975}{1445} = 225 \text{ Нм};$$

$$M_{\text{max}} = 2,5 \cdot 225 = 562 \text{ Нм}.$$

Номинальное скольжение:

$$S_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0} = \frac{1500 - 1445}{1500} = 0,036.$$

Критическое скольжение:

$$S_{kp} = S_n (\lambda \pm \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0,036(2,5 \pm \sqrt{2,5^2 - 1}) = 0,17.$$

Естественная характеристика двигателя $M=f(S)$ с помощью формулы Клосса будет

$$M = \frac{2M_{\text{max}}}{\frac{s}{s_{kp}} + \frac{s_{kp}}{s}}. \quad (1)$$

А механическая характеристика

$$n = n_0(1 - s). \quad (2)$$

В формулах (1-2) изменяя значение “S”-я от 0 до 1 определяем соответствующие значения M и n .

1. $s=0$; $M=0$; $n=n_0=1500 \text{ об/мин}$.

2. $s=0,02$; $M = \frac{2M_{\text{max}}}{\frac{s}{s_{kp}} + \frac{s_{kp}}{s}} = \frac{2 \cdot 562}{\frac{0,02}{0,17} + \frac{0,17}{0,02}} = 130 \text{ Нм}.$

$$n = n_0(1 - s) = 1500(1 - 0,02) = 1470 \text{ об/мин.}$$

В таблице 1 приведены результаты вычислений.

Таблица 1

S	0	0,02	0,036	0,1	0,17	0,2	0,3	1
M, Нм	0	130	225	491	562	550	487	450
n, об/мин	1500	1470	1445	1350	1245	1200	900	0

Так как статический момент сопротивления буксирной лебёдки в основном считается постоянным в зависимости от водоизмещения буксируемого судна, то для поддержания постоянства перегрузочной способности двигателя в регулировочных характеристиках при изменении частоты должно выполняться условие $\frac{U}{f_1} = const$.

Механическая характеристика двигателя, построенная по данным таблицы 1 и регулировочная характеристика, полученная с помощью частотного преобразователя показаны на рис.4.

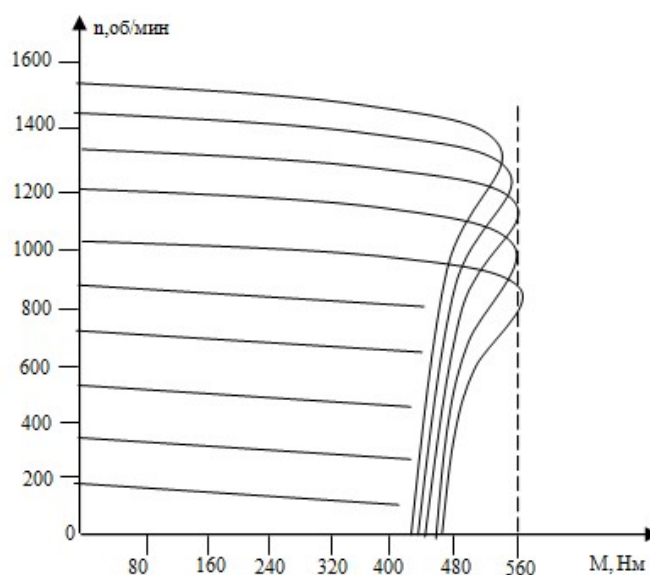


Рисунок 4 – Регулировочная характеристика, полученная изменением частоты односкоростного асинхронного двигателя типа МАП

Как видно из рис.4, полученные с помощью частотного преобразователя регулировочные характеристики полностью обеспечивают необходимый двигателю предел и плавность регулирования.

Следует отметить, что при таком регулировании двигатель необходимый для буксирной лебёдки полностью сохраняет постоянной перегрузочную способность $\lambda = 2,5$ при всех значениях (вниз от номинальной) скорости вращения.

Надёжность односкоростного привода. Из-за отсутствия контактной системы в силовой и управляющей цепях двигателя, надёжность электропривода повышается, а эксплуатация упрощается. Масса односкоростного асинхронного двигателя: $Q_2=392 \text{ кг}$

Трёхфазный асинхронный двигатель нынешней буксирной лебёдки. Тип двигателя: МАП 622-4/8/16. Мощность: $P_H=28, 36, 10$ кВт. Номинальные скорости вращения: $n_H=1445/670/315$ об/мин.

$$\text{Перегрузочная способность } \lambda_1 = \frac{M_{\max 1}}{M_{H1}} = 2,1; \quad \lambda_2 = \frac{M_{\max 2}}{M_{H2}} = 2,5; \quad \lambda_3 = \frac{M_{\max 3}}{M_{H3}} = 2,4.$$

Двигатель запускается в помощью первой обмотки ($2p=16$) и работает на низкой скорости. Вторая обмотка ($2p=8$)—это обмотка самая мощная, способная создавать высокий вращающий момент. С помощью этой обмотки двигатель под нагрузкой выбирает или травит трос [3].

Третья обмотка ($2p=4$) считается высокоскоростной обмоткой, с помощью которой свободный трос наматывается на барабан.

Определим параметры отдельных обмоток:

$$\begin{aligned} M_{1H} &= 9,81 \frac{975 \cdot P_{1H}}{n_{1H}} = 9,81 \frac{975 \cdot 10}{315} = 303,6 \text{ Нм}; \\ M_{2H} &= 9,81 \frac{975 \cdot P_{2H}}{n_{2H}} = 9,81 \frac{975 \cdot 36}{670} = 514 \text{ Нм}; \\ M_{3H} &= 9,81 \frac{975 \cdot P_{3H}}{n_{3H}} = 9,81 \frac{975 \cdot 28}{1445} = 185 \text{ Нм}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Номинальное скольжение: } S_{1H} &= \frac{n_{01} - n_{H1}}{n_{01}} = \frac{375 - 315}{375} = 0,16; \\ S_{2H} &= \frac{n_{02} - n_{H2}}{n_{02}} = \frac{750 - 670}{750} = 0,106. \end{aligned}$$

Найдём соответственно критические скольжения для обмоток:

$$\begin{aligned} S_{3H} &= \frac{n_{03} - n_{H3}}{n_{03}} = \frac{1500 - 1445}{1500} = 0,036; \\ S_{1kp} &= S_{1H} (\lambda_1 \pm \sqrt{\lambda_1^2 - 1}) = 0,16(2,1 \pm \sqrt{2,1^2 - 1}) = 0,63; \\ S_{2kp} &= S_{2H} (\lambda_2 \pm \sqrt{\lambda_2^2 - 1}) = 0,106(2,5 \pm \sqrt{2,5^2 - 1}) = 0,47; \\ S_{3kp} &= S_{3H} (\lambda_3 \pm \sqrt{\lambda_3^2 - 1}) = 0,036(2,4 \pm \sqrt{2,4^2 - 1}) = 0,165. \end{aligned}$$

Максимальные моменты созданные обмотками:

$$\begin{aligned} M_{1\max} &= \lambda_1 \cdot M_{1H} = 2,1 \cdot 303,6 = 637,6 \text{ Нм}; \\ M_{2\max} &= \lambda_2 \cdot M_{2H} = 2,5 \cdot 514 = 1285 \text{ Нм}; \\ M_{3\max} &= \lambda_3 \cdot M_{3H} = 2,4 \cdot 185 = 444 \text{ Нм}. \end{aligned}$$

Для трёхскоростного двигателя, как и для сопоставимого односкоростного асинхронного двигателя используя формулу Клосса строим механическую характеристику для отдельных обмоток двигателя:

$$M_1 = \frac{2M_{1\max}}{\frac{s_1}{s_{1kp}} + \frac{s_{1kp}}{s_1}} = \frac{2 \cdot 637,6}{\frac{s_1}{0,63} + \frac{0,63}{s_1}} ; \quad (3)$$

$$M_2 = \frac{2M_{2\max}}{\frac{s_2}{s_{2kp}} + \frac{s_{2kp}}{s_2}} = \frac{2 \cdot 1285}{\frac{s_2}{0,47} + \frac{0,47}{s_2}} ; \quad (4)$$

$$M_3 = \frac{2M_{3\max}}{\frac{s_3}{s_{3kp}} + \frac{s_{3kp}}{s_3}} = \frac{2 \cdot 444}{\frac{s_3}{0,165} + \frac{0,165}{s_3}} ; \quad (5)$$

$$n = n_0(1 - s) . \quad (6)$$

Результаты расчёта по формулам (3–6) указаны в таблицах 2–4.

Таблица 2

S ₁	0	0,16	0,4	0,63	0,7	1
M ₁ , Нм	0	303,6	575	637	616	541
n ₁ , об/мин	375	315	225	139	112	0

Таблица 3

S ₂	0	0,2	0,4	0,47	0,6	0,7	1
M ₂ , Нм	0	928	1272	1285	1247	1189	1092
n ₂ , об/мин	750	600	450	397	300	225	0

Таблица 4

S ₃	0	0,036	0,1	0,165	0,4	0,5	1
M ₃ , Нм	0	185	395	444	314	270	266
n ₃ , об/мин	1500	1445	1350	1252	900	750	0

На рис.5 показаны механические характеристики, полученные на основе данных таблиц 2–4.

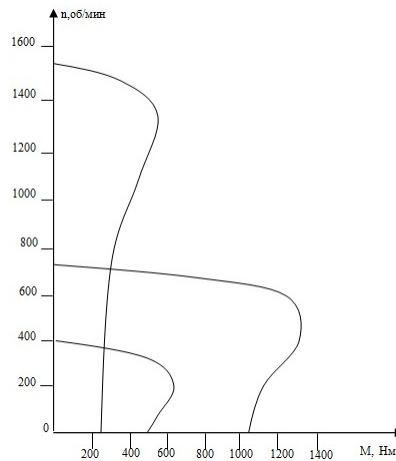


Рисунок 5 – Механическая регулировочная характеристика трёхскоростного АД типа МАП

В силовой цепи трехскоростного двигателя имеются трёхфазные контакторы трёх отдельных обмоток, и две трёхфазные контакторы направления. Из них цепь управления электропривода имеет много контактов рассчитанных на малый ток (до 2А). Всё это уменьшает надёжность и затрудняет эксплуатацию устройства. Масса трёхскоростного асинхронного двигателя $Q_1=710$ кг.

Вывод. Из проведённых сравнений ясно видно, что буксирная лебёдка управляемая частотным преобразователем имеет много преимуществ, основными из которых являются: полное обеспечение предела и плавности регулирования скорости необходимой буксирной лебёдке; возможность автоматического управления устройства; надёжность; легкость эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабаев А.М., Ягодкин В.А. Автоматизированные судовые электроприводы, М., Транспорт, 1986. - 448 ст.
2. Мехтиев Г.А., Гасанов З.А., Шабанов Т.Г. Автоматизированные судовые электроприводы. Баку, Изд. «Нурлан», 2005 год, стр.358. (на азербайджанском языке).
3. Судовые электроприводы. Справочник. Л. Судостроение, 1983, Т. II-384 ст.

Sultanov E.F., Abdullaev A.N.

THE TECHNICAL AND ECONOMIC ADVANTAGES OF THE FREQUENCY-TRANSFORMATION MANAGEMENT OF SHIPBOARD TOWING WINCH

The article analyzes the main advantages of the asynchronous frequency control drive as compared to the three-speed asynchronous drive of the ship towing winch.

The article also states that a towing winch controlled by a frequency converter has the following advantages: full provision of the limit and smoothness of speed control of the necessary towing winch; the ability to automatically control the device; reliability; ease of operation.

Keywords: Ship, asynchronous motor, towing winch, inventor, manager.

Султанов Е.Ф., Абдуллаев А.Н.

ТЕХНІЧНІ ТА ЕКОНОМІЧНІ ПЕРЕВАГИ ЧАСТОТНО-ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ СУДНОВИХ БУКСИРНИХ ЛЕБІДОК

У статті проведено аналіз основних переваг асинхронного приводу частотного управління в порівнянні з тріхскоростним асинхронним приводом судновий буксирної лебідки.

Також в статті стверджується, що буксирна лебідка керована частотним перетворювачем має такі переваги: повне забезпечення межі і плавності регулювання швидкості необхідної буксирної лебідки; можливість автоматичного керування пристроєм; надійність; легкість експлуатації.

Ключові слова: судно, асинхронний двигун, буксирна лебідка, перетворювач частоти, управління.