

УДК 629.5.062

О.К. КОЛЕБАНОВ, В.В. ПОЛИВОДА

Херсонська державна морська академія

А.А. ОМЕЛЬЧУК

Херсонський національний технічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ДЛЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ВАНТАЖНОЇ СИСТЕМИ ТАНКЕРА

*В даній роботі досліджується можливість збільшення швидкості перекачування нафтопродуктів на танкері шляхом впровадження систем електроприводу насосних агрегатів.*

*Рух рідини трубопроводами вантажної системи нафтового танкера відбувається відповідно до фізичних законів гідравліки. Відповідно до загальноприйнятих у фізиці принципів збереження енергії в гідравлічних системах, для двох перетинів потоку при сталому русі величини гідравлічних енергій рідини рівні.*

*Дане твердження демонструє рівняння Бернуллі. З якого, зокрема, випливає висновок, що за інших рівних умов, при розширенні трубопроводу частина кінетичної енергії потоку рідини переходить в потенційну енергію тиску. В результаті цього загальна гідравлічна енергія рідини залишається без змін.*

*Запас гідравлічної енергії рідини знижується в міру руху потоку по трубопроводу внаслідок наявності гідравлічного опору. Чим більша довжина трубопроводу, чим більше на ній місцевих опорів, чим вище встановлений приймальний резервуар, тим більше механічної енергії потрібно докласти для перекачування рідини.*

*За характером механічної дії на рідину насоси діляться на динамічні та об'ємні. У динамічному насосі потік рідини створюється в проточній камері, де розміщується обертове робоче колесо. До динамічних насосів відносяться: відцентрові, лопатеві, осьові, вихрові, водокільцеві, шнекові, дискові, струменеві та ін. На нафтовому танкері в якості основних вантажних засобів перекачування нафтопродуктів (вантажних насосів) використовуються відцентрові насоси.*

*Застосування пристроїв плавного регулювання частоти обертання двигунів насосів, крім економії електроенергії, надає ряд додаткових переваг. Плавний пуск і зупинка двигуна виключає шкідливий вплив перехідних процесів в напірних трубопроводах і технологічному обладнанні танкера. Стає можливим пуск двигуна при струмі, обмеженому на рівні номінального значення, що підвищує довговічність двигуна, знижує вимоги до потужності мережі і комутуючої апаратури. Створюється можливість модернізації діючих технологічних агрегатів без заміни насосного обладнання.*

*Ключові слова: танкер, суднові системи, перекачування нафти, парові насоси, електропривод, частотний перетворювач.*

А.К. КОЛЕБАНОВ, В.В. ПОЛИВОДА

Херсонская государственная морская академия

А.А. ОМЕЛЬЧУК

Херсонский национальный технический университет

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ГРУЗОВОЙ СИСТЕМЫ ТАНКЕРА

*В данной работе исследуется возможность увеличения скорости перекачки нефтепродуктов на танкере путем внедрения систем электропривода насосных агрегатов.*

*Движение жидкостей по трубопроводам грузовой системы нефтяного танкера происходит в соответствии с физическими законами гидравлики. В соответствии с общепринятыми в физике принципами сохранения энергии в гидравлических системах, для двух сечений потока при установившемся движении величины гидравлических энергий жидкости равны.*

*Данное утверждение выражает уравнение Бернуллі. Из которого, в частности, вытекает вывод, что при прочих равных условиях, при расширении трубопровода часть кинетической энергии потока жидкости переходит в потенциальную энергию давления. В результате этого общая гидравлическая энергия жидкости остается без изменений.*

*Запас гидравлической энергии жидкости снижается по мере движения потока по трубопроводу вследствие наличия гидравлического сопротивления. Чем больше длина трубопровода, чем больше на ней местных сопротивлений, чем выше установлен приёмный резервуар, тем больше механической энергии требуется приложить для перекачки жидкости.*

*По характеру механического воздействия на жидкость насосы делятся на динамические и объёмные. В динамическом насосе поток жидкости создается в проточной камере, где размещается*

вращающееся рабочее колесо. К динамическим насосам относятся: центробежные, лопастные, осевые, вихревые, водокольцевые, шнековые, дисковые, струйные и др. На нефтяном танкере в качестве основных грузовых средств перекачки груза (грузовых насосов) используются центробежные насосы.

Применение устройств плавного регулирования частоты вращения двигателей насосов, кроме экономии электроэнергии, предоставляет ряд дополнительных преимуществ. Плавный пуск и остановка двигателя исключает вредное воздействие переходных процессов в напорных трубопроводах и технологическом оборудовании танкера. Становится возможным пуск двигателя при токе, ограниченном на уровне номинального значения, повышая долговечность двигателя, снижая требования к мощности сети и коммутирующей аппаратуре. Появляется возможность модернизации действующих технологических агрегатов без замены насосного оборудования.

Ключевые слова: танкер, судовые системы, перекачка нефти, паровые насосы, электропривод, частотный преобразователь.

A.K. KOLEBANOV, V.V. POLYVODA

Kherson State Maritime Academy

A.A. OMELCHUK

Kherson National Technical University

### RESEARCH OF THE POSSIBILITY OF APPLICATION OF ELECTRIC DRIVE FOR MODERNIZATION OF THE TANKER CARGO SYSTEM

*In this paper, the possibility of increasing the speed of pumping oil products on a tanker by introducing electric drive systems for pumping units, is investigated.*

*The movement of liquids through the pipelines of the cargo system of an oil tanker occurs in accordance with the physical laws of hydraulics. In accordance with the principles of energy conservation in hydraulic systems generally accepted in physics, for two flow sections with steady motion, the values of the hydraulic energies of the fluid are equal.*

*This statement expresses the Bernoulli equation. From which it follows that when the pipeline expands, part of the kinetic energy of the fluid flow transforms into potential pressure energy. As a result, the total hydraulic energy of the fluid remains unchanged.*

*The supply of hydraulic energy of the fluid decreases as the flow through the pipeline due to the presence of hydraulic resistance. The greater the length of the pipeline, the greater the local resistance on it, the higher the receiving tank is installed, the more mechanical energy is required to apply for pumping fluid.*

*By the nature of the mechanical effect on the fluid, the pumps are divided into dynamic and volumetric. In a dynamic pump, fluid flow is created in a flow chamber where a rotating impeller is placed. Dynamic pumps include: centrifugal pumps, impeller pumps, axial pumps, vortex pumps, liquid ring pumps, auger pumps, disc pumps, jet pumps, etc. On an oil tanker, centrifugal pumps are used as the main cargo transport facilities (cargo pumps).*

*The use of devices for smooth regulation of the rotational speed of pump motors, besides energy saving, provides a number of additional advantages. Soft start and stop of the engine eliminates the harmful effects of transients in the pressure pipelines and technological equipment of the tanker. It becomes possible to start the engine at a current limited to the level of the nominal value, increasing the durability of the engine, reducing the power requirements of the network and switching equipment. It becomes possible to upgrade existing technological units without replacing pumping equipment.*

*Keywords: tanker, ship systems, oil pumping, steam pumps, electric drive, frequency converter.*

#### Постановка проблеми

Нафтовий танкер - це судно, призначене для перевезення нафти наливом. Поява сучасних швидкісних танкерів та вдосконалення їх конструкції і устаткування можуть забезпечити значне збільшення обсягів перевезення нафти і нафтопродуктів одним судном, за рахунок істотного скорочення витрати часу на вантажно-розвантажувальні операції у порту.

Одним з основних компонентів вантажної системи танкеру є насосні установки. Вони призначаються для вивантаження нафтопродуктів з танків і подачі їх через систему берегових трубопроводів у спеціальні ємності. До складу таких установок входять, як правило, декілька вантажних та зачисних насосів. Новітні танкери зазвичай мають одне насосне відділення, розміщене у кормовій частині судна між вантажним простором і машинним відділенням, однак існують і інші варіанти розміщення. Танкери, перевозячи нафту і продукти її переробки, використовують вантажні системи лінійного типу, кільцеві, з перепускними перебірними клінкетами та зануреними насосами.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Досвід проектування і експлуатації систем вантажного комплексу танкера показує, що вони повинні відповідати наступним вимогам: вивантаження у заданий час; взаємозамінність вантажних і

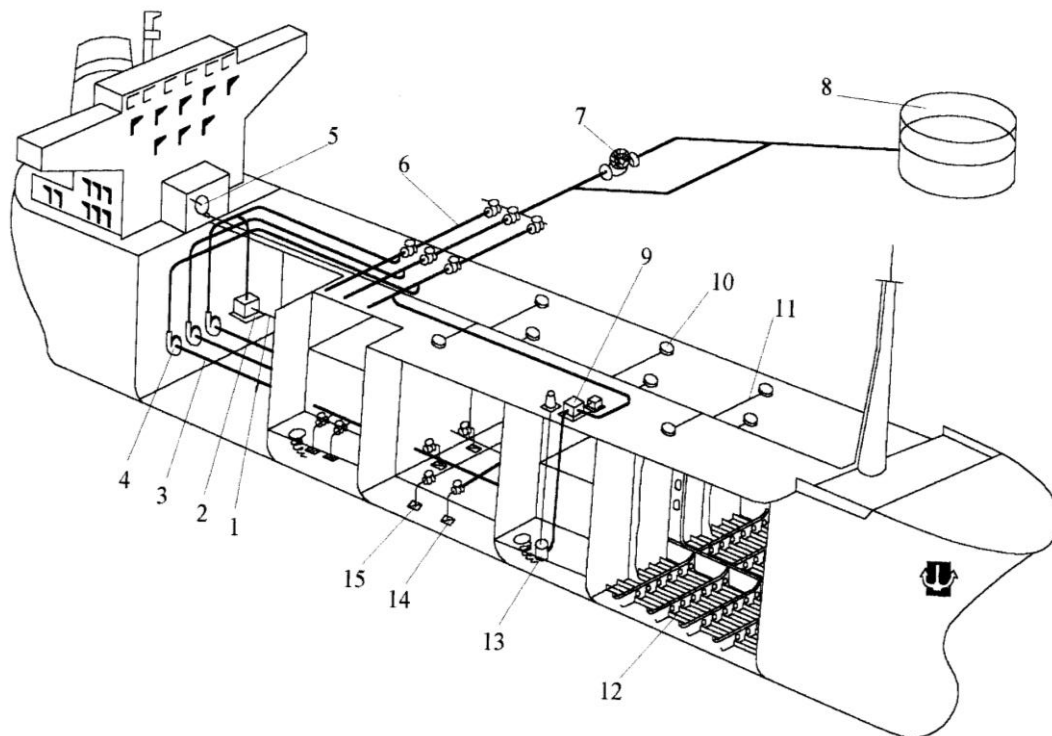
зачисних насосів; роздільне вивантаження нафтопродуктів різних сортів; переміщення вантажу між окремими танками; спільну роботу насосів при їх паралельному і послідовному включенні; пожежну безпеку; надійну роботу за умови крену, диференту і вібрації; простоту технічного обслуговування [1].

#### Формулювання мети дослідження

Метою роботи було дослідження можливості збільшення швидкості перекачування нафтопродуктів на танкері шляхом впровадження систем електроприводу насосних агрегатів.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

Основний склад танкерного флоту використовує для проведення вантажних операцій вантажні системи лінійного типу. У таких системах в нижній частині танкера прокладається магістральний трубопровід з прийомними відростками в цистерни. Число прокладених на днище магістралей дорівнює числу вантажних насосів. Вантажний об'єм танкера розділяється на групи танків, кожна з яких обслуговується одним вантажним насосом. У кожній групі танків перевозиться один сорт вантажу. Для забезпечення взаємозамінності насосів магістральні трубопроводи мають подвійні запірні клапани, встановлені у танках. Від вантажних насосів вантаж подається по стояках на палубу, далі до роздавальної колонки, а від неї по гнучких шлангах в берегові трубопровід і ємності (рис. 1).



**Рис. 1. Схема розвантаження танкера: 1, 2 - зачисні трубопровід і насос; 3, 4 - вантажні трубопровід і насос; 5 - нагнітач системи інертних газів; 6 - шланг; 7, 8 - берегові насос і ємність; 9 - палубний вантажний насос; 10 - горловина; 11 - трубопровід системи газовідводу; 12 - днищевий набір; 13 - занурений бустерний насос; 14, 15 - приймачі вантажної і зачисної систем**

У таблиці 1 вказані найбільш розповсюджені типи насосів для вантажних систем танкерів: паротурбінний, електричний та паровий прямодіючий. Крім вказаних у таблиці, на танкерах використовуються дизельні, гідравлічні (як наприклад, можна навести досить поширені гідравлічні вантажні установки FRAMO виробництва фірми Frank Mohn Fusa A/S, Норвегія) та менш розповсюджені газотурбінні приводи. На середніх і великотоннажних танкерах у якості головних вантажних насосів

зазвичай використовуються вертикальні або горизонтальні відцентрові насоси. На менших суднах частіше застосовуються поршневі і гвинтові насоси [1].

На сучасних танкерах кількість вантажних насосів варіюється від двох до семи, у залежності від кількості сортів нафтопродуктів, що перевозяться. Слід зазначити, що у залежності від схеми вантажної системи танкера, зачисні операції теж можуть виконуватися вантажними насосами. Тиск, який має розвиватися насосами, повинен бути достатньо високим, щоб забезпечити перекачку в'язких нафтопродуктів на значні відстані, долаючи гідравлічний спротив трубопроводів [1].

Таблиця 1

**Найбільш розповсюджені приводи для вантажних та зачисних насосів**

Тип насоса	Номінальні значення		Різновид приводного двигуна
	Потужність привода, МВт	Частота обертання, об/хв.	
Відцентровий	0,35-2,5	750-1800	Парові турбіни, електродвигуни
Поршковий	0,04-0,4	30-60 подвійних ходів	Поршкові прямодіючі, електродвигуни
Гвинтовий	0,05-0,7	600-1800	Електродвигуни, парові турбіни

У відповідності до рекомендацій продуктивність вантажного насоса ( $\text{м}^3/\text{год}$ ) повинна бути не меншою за

$$Q = \frac{V}{n \cdot t}, \quad (1)$$

де  $Q$  – об'єм вантажу  $\text{м}^3$ ,  $n$  – кількість насосів,  $t$  – час відкачки вантажу, год.

Перевагами відцентрових насосів є велика продуктивність, невеликі габарити та маса, можливість використання різноманітного привода, однак при збільшенні в'язкості рідини, що перекачується, ККД відцентрового насоса зменшується. Приводні поршкові насоси є простими в обслуговуванні, але мають відносно низьку продуктивність. Для обслуговування вантажних систем широко застосовують прямодіючі парові насоси, які у залежності від положення осей циліндрів поділяються на горизонтальні і вертикальні [2].

Перевага вантажних систем з гідроприводом окремих насосів полягає в можливості виробляти вантажні операції одночасно у багатьох танках при різноманітних вантажах, виключаючи можливість змішування цих вантажів. Крім того, вони, практично, пожегобезпечні, так як використовують в якості робочої рідини гідравлічні масла.

У якості електроприводу для вантажних насосів застосовують дво- і тришвидкісні асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором, з'єднаних з насосом - безпосередньо. Використання електродвигунів на дизельних суднах доцільніше з економічної точки зору, ніж парових турбін, що мають отримувати живлення від допоміжних котлів. Електропривод отримує живлення від дизель-генераторів. Частотне регулювання дозволяє усунути один з істотних недоліків електродвигунів з короткозамкненим ротором - постійну частоту обертання ротора електродвигуна, не залежну від навантаження. Частотне регулювання створює можливість управління швидкістю електродвигуна відповідно до характеру навантаження. Це в свою чергу дозволяє уникати складних перехідних процесів в електричних мережах, забезпечуючи роботу обладнання в найбільш економічному режимі [3].

Ефективність регулювання продуктивності насосного агрегату за допомогою перетворювача частоти наочно видно з наведеного нижче рис. 2.

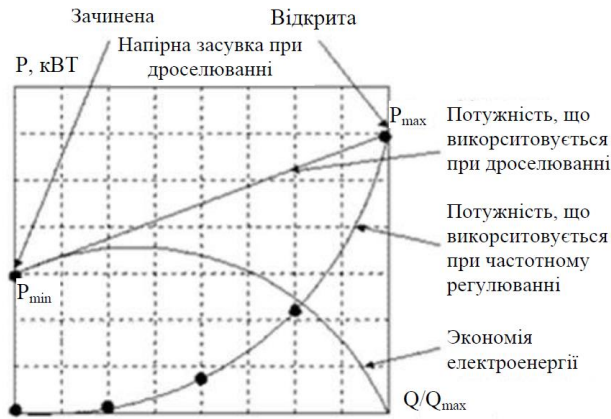


Рис. 2. Споживання потужності при різних способах регулювання швидкості обертання насосів

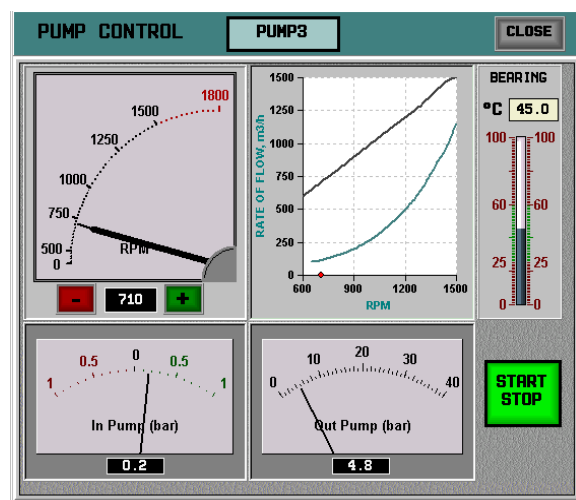
Практика застосування частотних перетворювачів для управління насосами і вентиляторами доводить доцільність не просто включення перетворювача для управління агрегатом, а створення спеціалізованих систем управління технологічним процесом. Саме такий підхід дозволяє отримати економічний ефект не тільки від зниження споживаної з мережі електричної потужності, а й домогтися істотного зменшення експлуатаційних витрат, поліпшення умов праці та збільшення терміну служби обладнання. Сучасні перетворювачі частоти дозволяють отримувати більше 20 параметрів стану електроприводу. Відповідна обробка цих параметрів дозволяє проводити глибоке діагування як обладнання системи, так і процесів, що протікають. З'являється можливість не тільки реагувати на виниклу аварію, але і попереджати її, що для таких судів як танкери особливо важливо [4, 5].

Можна помітити, що при дроселюванні енергія потоку нафтопродуктів, стримуваного засувкою або клапаном, просто втрачається, не здійснюючи ніякої корисної роботи [6]. Застосування перетворювача частоти в складі насосних агрегатів дозволяє просто задати необхідний тиск або витрата, підвести сигнал зворотного зв'язку по параметру безпосередньо до перетворювача частоти, що забезпечить не тільки економію електроенергії, але і зниження втрат транспортованої речовини [7, 8].

Вантажні системи сучасних танкерів оснащені системами управління, що забезпечують безперервний в реальному масштабі часу дистанційний контроль наступних параметрів (рівень та обсяг нафтопродукту в вантажних танках, рівень та обсяг води у баластних танках, температуру нафтопродукту, тиск продукту у маніфольді, положення судна), а також автоматизоване дистанційне керування обладнанням вантажної і баластної системи під час проведення вантажних операцій (вантажними і баластними насосами, дистанційно-керованою запірною арматурою). Приклад програмного середовища таких систем наведено на рис. 3.



а) структура система управління і моніторингу вантажної системи танкера



б) вікно стану окремого насоса для перекачування нафтопродуктів

Рис. 3. Програмне середовище автоматизованої системи управління вантажною системою танкера

### Висновки

Одними з найважливіших підсистем танкера є вантажна і баластна системи, які складаються з таких гідравлічних елементів як: трубопроводи, насоси, клінкети, ємності та ін. Найчастіше у якості вантажних насосів застосовуються відцентрові насоси. Для відцентрового насоса гідравлічна характеристика має форму параболи, плавно спадаючої від точки максимального напору. Параметри роботи насоса на конкретний трубопровід визначаються робочою точкою, яка знаходиться у точці перетину гідравлічної характеристики насоса і гідравлічної характеристики трубопроводу. Особливістю відцентрового насоса є споживання мінімальної потужності при нульовій подачі. Як відомо, під час запуску електродвигунів пускові струми можуть досягати значних величин, в 2 - 3 рази перевищують споживану потужність у номінальному режимі. Застосування електродвигунів у якості приводів вантажних насосів танкера є економічно доцільним. При використанні регульованого електроприводу для насосів економія електроенергії в середньому становить 50% від потужності, споживаної насосами при дросельному регулюванні. Застосування пристроїв плавного регулювання частоти обертання двигунів в насосних агрегатах, крім економії електроенергії, дає ряд додаткових переваг, а саме: плавний пуск і зупинка двигуна виключає шкідливий вплив перехідних процесів (типу гідравлічний удар) в напірних трубопроводах і технологічному обладнанні; пуск двигуна здійснюється при струмі, обмеженому на рівні номінального значення, що підвищує довговічність двигуна, знижує вимоги до потужності мережі і комутуючої апаратури; можлива модернізація діючих технологічних агрегатів без заміни насосного обладнання.

### Список використаної літератури

1. Ситченко Л.С. Основы проектирования грузовых и обеспечивающих систем танкеров / Л.С. Ситченко, В.Г. Макаров. – Л.: Изд. ЛКИ, 1984. – 104 с.
2. Судовой механик: Справочник.; под редакцией А.А. Фока. – Том 1, Одесса: Феникс, 2008. – 1033 с.
3. Ловейкін В.С. Частотне керування асинхронним приводом / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич. – Ніжин.: 2011. – 98 с.
4. Канюк Г.І. Аналіз резервів енергозбереження при керуванні насосними агрегатами нафтоперекачуючих станцій України / Г.І. Канюк, О.В. Андреев, А.Ю. Мезеря, В.М. Князева // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2015. – № 4. – С. 3 - 15.
5. Виноградов, А.Б. Векторное управление электроприводами пе-ременного тока / ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетиче-ский университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2008. – 297 с.
6. Лебеденко Ю.О. Перспективи застосування матричних перетворювачів частоти в автономних енергетичних системах / Ю.О. Лебеденко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – № 6. – С. 105 - 109.
7. Омельчук А.А. Математическая модель электропривода слиповой тележки / А.А. Омельчук, А.В. Рудакова, Ю.А. Лебеденко // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2014. – № 3(50). – С. 390 - 394.
8. Лебеденко Ю.А. Нечеткая модель регулятора привода с переменным моментом инерции / Ю.А. Лебеденко, К.В. Тимофеев, Л.К. Тимофеев, В.Б. Сис // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2013. – № 2(47). – С. 176 - 181.