

Андреев О.В., к. техн. н., доцент, Загребельна Л.І., к. техн. н., доцент,
Кобець О.В., к. техн. н., доцент

ПЕРЕРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ НА В'ЯЗКІ РІДИНИ

*Українська інженерно-педагогічна академія,
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків*

Ключові слова: відцентрові насоси, частота обертання, мазут, в'язкість, ККД, коефіцієнт перерахунків подачі.

Сучасна промисловість широко використовує рідини, в'язкість яких суттєво відрізняється від в'язкості води.

В енергетиці ТЕС та ТЕЦ як резервне паливо використовують паливний мазут марок М-40 і М-100, в'язкість якого за робочих технічних температур в рази вище в'язкості води.

Масштаб мазутного господарства можна оцінити на прикладі ПАТ «Харківська ТЕЦ-5», до складу якого входять:

- залізнична естакада з фронтом зливу 26 цистерн;
- приймальний резервуар ємністю 1000 м³;
- три резервуари для мазуту ємністю 20000 м³ кожний;
- насоси для перекачування мазуту;
- підігрівачі мазуту.

Окремо слід відмітити роль ПАТ «Харківська ТЕЦ-5» у стабілізації тиску природного газу в газорозподільних системах Харкова. Під час загострення дефіциту газу епізодичний перехід ТЕЦ-5 з газу на мазут захищає енергосистему від колапсу.

Паливний мазут використовують в котельнях ЖКХ як основне паливо.

Паливний мазут марок Ф5 і Ф12 є основним паливом сучасного флоту.

Україна є великим транзитером нафти. Система нафтопроводів в Україні має 19 нафтопроводів загальною довжиною близько 4800 км, 51 нафтоперекачувальну станцію, роботу яких забезпечують 176 насосних агрегатів відцентрового типу, загальною потужністю 360 тис. кВт. Пропускна здатність системи дорівнює 114 млн. т/рік.

В нафтопереробній промисловості працюють тисячі відцентрових насосів на різних нафтопродуктах, між тим характеристики відцентрових насосів, що наведені в паспортах, або каталогах заводів-виробників, отримано шляхом випробувань модельних або натурних насосів на холодній воді. Користування паспортними характеристиками відцентрових насосів для в'язких рідин потребує їхніх перерахунків.

Наведені дані показують актуальність задачі перерахунку характеристик відцентрових насосів на в'язкі рідини.

Основними властивостями рідин, що впливають на характеристики насосів, є густина (щільність), в'язкість, тиск насиченої пари, поверхневий натяг тощо.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

У таблиці для ілюстрації наведено діапазони зміни деяких властивостей низки рідин, що перекачуються відцентровими насосами в деяких галузях промисловості.

Більшість робочих рідин має щільність меншу (на 10–20 %), ніж щільність води, в'язкість може бути більшою в рази, іноді на порядок, ніж в'язкість води.

Таблиця – Діапазони зміни властивостей низки рідин

Рідина	Щільність (густина) ρ , кг/м ³	В'язкість ν , Ст (см ² /с) за 20 °С
Вода	1000	0,0101
Гас	800–830	0,02–0,03
Оливи індустріальні		
I-12	880	0,5
I-20	885	1,0
I-30	890	1,7
I-50	910	4,0
Нафта різних родовищ		
	860	0,08–0,09
	880	0,284–0,341
	890	0,562–0,674
	900	1,444–1,556
Мазут (320К)	900–1050	(80 °С) 1,5– 5,0
Дизельне паливо	800–900	0,015–0,08

Характеристику насоса НК 150-125-315 представлено на рис. 1.

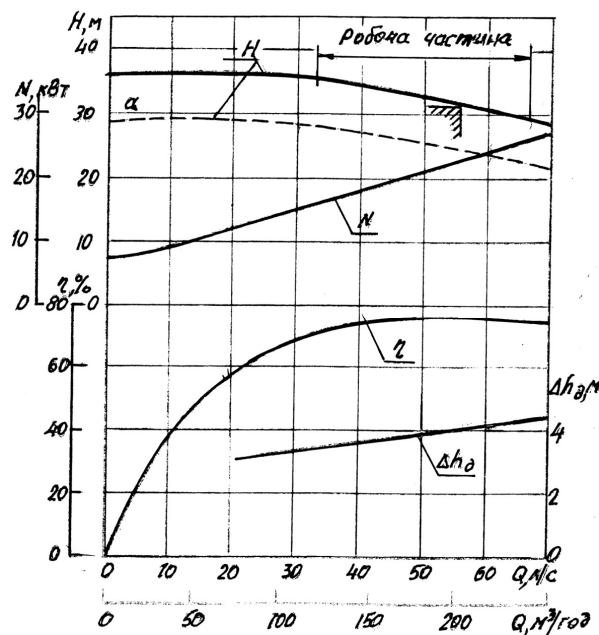


Рисунок 1 – Характеристика насоса НК 150-125-315:
 $n = 1450$ об/хв; α – індекс обточування робочого колеса

Гідрравлічні ($Q-H$) й енергетичні ($Q-N$), ($Q-\eta$), ($Q-\Delta h$) характеристики відцентрових насосів наведено в паспортах у вигляді відповідних графічних залежностей, отриманих в результаті випробувань на воді.

На рис. 1 показано такі характеристики консольного відцентрового нафтового насоса марки НК 150-125-315:

- Q – подача насоса л/с ($\text{м}^3/\text{год}$);
- H – напір, м,

$$H = H_n - H_b = (P_n - P_b) / \rho g ,$$

де P_n і P_b – тиски в нагнітальній та у всмоктувальній лініях, Па;

- N – потужність, кВт,

$$N = \frac{N_{\text{п}}}{\eta} = \frac{\rho g H Q}{\eta} \cdot 10^{-3} ,$$

де $N_{\text{п}}$ – корисна потужність, η – коефіцієнт корисної дії насоса;

- Δh – кавітаційний запас системи, м,

$$\Delta h = \frac{P_1 - P_{\text{шт}}}{\rho g} - (\pm z) - \sum h ,$$

де P_1 – абсолютні тиск на вільній поверхні рідини в резервуарі, з якого виконується відкачування; $P_{\text{шт}}$ – тиск насиченої пари перекачуваної рідини, за робочою температурою, Па; z – рівень рідини від осі робочого колеса насоса, м; тобто відстань вздовж вертикалі від осі вала до рівня рідини в резервуарі, з якого її відкачують (знак «плюс», якщо робоче колесо вище рівня рідини, знак «мінус», якщо робоче колесо розташовано нижче рівня рідини – підпір); $\sum h$ – втрати напору у всмоктувальному трубопроводі за оптимальної подачі, м; $\Delta h_{\text{д}}$ – допустимий кавітаційний запас ($\Delta h_{\text{д}} \leq \Delta h$), м.

З метою використання характеристик насоса в системах АСУ для автоматичного керування подачею насоса потрібне аналітичне відображення характеристик. Зазвичай характеристику ($Q-H$) відображають у вигляді двочленної залежності [1]:

$$H = a - bQ^2 ,$$

де a і b – коефіцієнти апроксимації.

Характеристику ($Q-\eta$) також відображують у вигляді двочлена [1]:

$$\eta = kQ - k_1Q^2 ,$$

де k і k_1 – коефіцієнти апроксимації.

Аналітичне відображення характеристик $(Q-H)$ і $(Q-\eta)$ виконується на базі відповідних графічних характеристик, підрахунок коефіцієнтів апроксимації a, b, k, k_1 здійснюють методом найменших квадратів.

Робочі характеристики відцентрових насосів можуть бути змінені шляхом зміни зовнішнього діаметра робочого колеса D_2 (обточування колеса), або шляхом зміни частоти обертання n вала насоса.

Змінена характеристика насоса зв'язана з характеристиками насоса за номінальних значеннях D_2 та n таким чином [1]:

$$H = a(D_2'/D_2) - bQ^2,$$

$$H = a(n'/n)^2 - bQ^2.$$

де D_2' і n' – змінені діаметр колеса та частота його обертання.

Вплив в'язкості рідини на характеристики насоса

Як показують дослідження [2, 3], в'язкість рідини, що перекачується, впливає на форму характеристик насоса.

При перекачуванні рідини, що має більшу в'язкість ніж в'язкість води, збільшуються дискові і гідравлічні втрати насоса.

Подача, напір і ККД, завдяки збільшенню опору на тертя у каналах робочого колеса, зменшуються, а споживана потужність зростає.

На рис. 2 наведено графіки характеристик $(H-Q)$, $(N-Q)$, $(\eta-Q)$ відцентрового насоса з коефіцієнтом швидкохідності $n_s = 82$, побудовані за результатами випробувань на рідинах різної в'язкості [4].

Методика перерахунку характеристик відцентрових насосів з води на в'язкі рідини

Для перерахунку характеристик відцентрових насосів на в'язкі рідини з характеристик, що одержані при випробуваннях насоса на воді, вводять поправкові коефіцієнти K_a, K_H, K_η , які залежать від числа Рейнольдса, що обчислюється за формулою:

$$Re = (Q_{\text{опт}} / D_e v),$$

де $Q_{\text{опт}}$ – оптимальна подача насоса (при максимальному ККД насоса), м³/с; D_e – еквівалентний діаметр робочого колеса, м; v – коефіцієнт кінематичної в'язкості рідини, м²/с;

На рис. 3 показано конструктивний переріз робочого колеса, користуючись яким визначимо D_e :

$$D_e = \sqrt{4D_2 b_2 K},$$

де D_2 – зовнішній діаметр робочого колеса, м; b_2 – ширина лопаті робочого колеса на зовнішньому діаметрі, м; K – коефіцієнт звуження перерізу робочого колеса лопатями на виході:

$$K = \frac{l_2 - \delta_2 z}{l_2} = \frac{\pi D_2 - \delta_2 z}{\pi},$$

де $l_2 = \pi D_2$; δ_2 – товщина лопаті на зовнішньому діаметрі колеса, м; z – кількість лопатей.

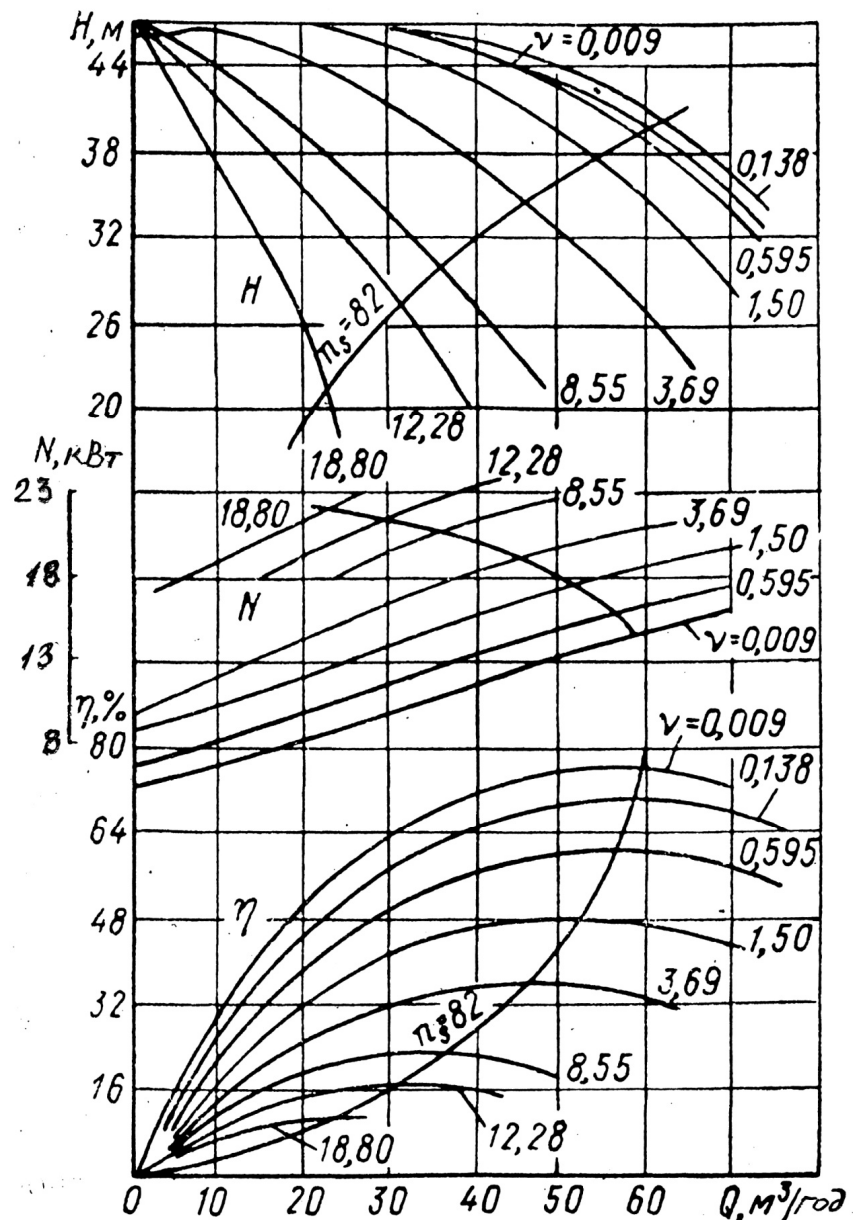


Рисунок 2 – Характеристики відцентрового насоса з робочим колесом одностороннього входу, що працює на в'язких рідинах на 2875 об/хв (ν – кінематична в'язкість рідин в Ст ($\text{см}^2/\text{с}$))

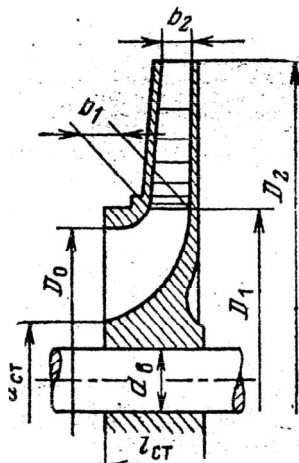


Рисунок 3 – Розрахункова конструктивна схема перерізу робочого колеса

Дослідження, використані авторами робіт [2, 4, 5], дозволили побудувати графіки залежності поправкових коефіцієнтів K_Q , K_H , K_η від числа Re (рис. 4).

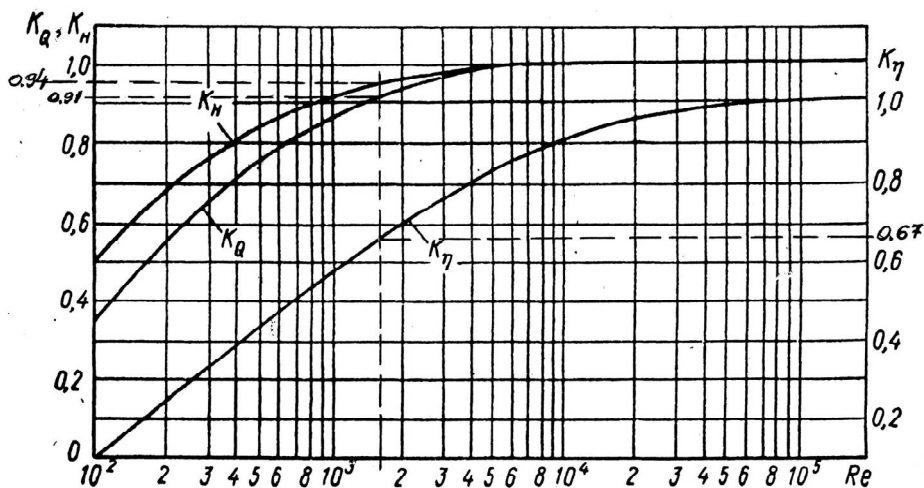


Рисунок 4 – Залежності поправкових коефіцієнтів від числа Re

Визначивши величини відповідних коефіцієнтів, можна отримати подачу, напір і ККД для в'язкої рідини:

$$Q_v = K_Q Q_B ;$$

$$H_v = K_H H_B ;$$

$$\eta_v = K_\eta \cdot \eta_B .$$

У формулах Q_v , H_v , η_v – відповідно подача, напір і ККД отримано з характеристики насоса, побудованої за результатами випробування насоса на воді.

Важливо зауважити, що коефіцієнти перерахунку, отримані при $Re = Q_{\text{опт}} / (D_e v)$, тобто лише для $Q_{\text{опт}}$ (при $\eta = \eta_{\text{max}}$) характеристик відцентрових насосів, що знаходяться в діапазоні подач $0,8Q_{\text{опт}} < Q_{\text{опт}} < 1,2Q_{\text{опт}}$, можна вважати постійними.

Окрім того, дослідження авторів робіт [2, 3] показали, що напір насоса H при подачі $Q = 0$, залишається незмінним для рідин будь якої в'язкості.

Встановлено також, що існує значення $Re_n = (7 \div 8) \cdot 10^3$, що визначає межу з переходу режиму течії рідини з області, де характеристики ($Q - H$) залежать від в'язкості, в зону автомодельності, де вони не залежать від в'язкості.

Дослідження показують також, що достатньо висока точність перерахунків характеристик з води на в'язку рідину забезпечується для насосів коефіцієнти бистрохідності яких ($n_s = 3,65n\sqrt{Q/H^{3/4}}$) знаходяться в інтервалі $n_s = 50 \div 130$, тобто для тихохідних і нормальних коліс відцентрових насосів.

З підвищенням в'язкості рідини погіршується всмоктування відцентрових насосів, що потребує збільшення кавітаційного запасу Δh_d .

Висновки

1. Виконані дослідження підтвердили теоретичні розрахунки щодо впливу в'язкості рідини на вигляд характеристик відцентрових насосів.
2. Напір і подача на режимі максимального ККД зменшуються завдяки зростанню гідравлічних втрат в каналах робочого колеса.
3. Потужність зростає головним чином внаслідок зростання дискового тертя.
4. Особливо суттєво зменшується ККД насоса (на 25 % в розглянутому прикладі).
5. Приведення характеристик до аналітичного вигляду дозволяє застосувати АСУ регулювання подачі.
6. Засіб регулювання подачі за допомогою зміни частоти обертання забезпечує суттєве зниження витрати електроенергії (до 40 % в розглянутому прикладі).

Література

1. Лурье М.В. Задачник по трубопроводному транспорту нефти, нефтепродуктов и газа / М.В. Лурье. – М. : Центр «ЛитНефтегаз». - ISBN 5-902665-02-7, 2004. – 350 с.
2. Айзенштейн М.Д. Центробежные насосы для нефтяной промышленности / М.Д. Айзенштейн. – М. : Гостоптехшбат, 1957. – 363 с.
3. Колпаков Л.Г. Центробежные насосы магистральных нефтепроводов / Л. Г. Колпаков. – М. : Недра, 1985. – 184 с.
4. Чиняев И.А. Лопастные насосы : справочные пособия / И.А. Чиняев. – Л. : Машиностроение, 1973. – 184 с.

5. Зимин А.А. Гидравлические расчеты нефтепродуктов и насосных станций / А.А. Зимин. – М. : Госнаучтехиздат нефтяной и горно-топливной литературы, 1962. – 201 с.
6. Черкаський В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры / В.М. Черкаський. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 416 с.
7. Укрпромотор. Інвертори серії Goodrive 20. – Харків, 2019. –16 с.
8. Кулінченко В.Р. Гідравліка, гідравлічні машини і гідропривід : підручник / В. Р. Кулінченко. – К. : Фірма «ІНКОС», 2006. – 616 с.
9. Кулінченко В.Р. Лопатеві і гідроструменні багатofункціональні насосні установки : навч. посібник / В.Р. Кулінченко, О.П. Ломейко. – Мелітополь : ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2011. – 223 с.
10. Яременко О.В. Испытания насосов / О.В. Яременко. – М. : Машиностроение, 1976. – 223 с.
11. ГОСТ 6134-2007. Насосы динамические. Методы испытаний. Международный стандарт.
12. Международный стандарт ИСО 5198-1987. Насосы центробежные. Правила испытаний для определения гидравлических характеристик.

Bibliography (transliterated)

1. Lure M.V. Zadachnyk po truboprovodnomu transportu nefty, nefteproduktov y haza / M. V. Lure.– М. : Tsentr «LytNeftehaz». – ISBN 5-902665-02-7, 2004. – 350 p.
2. Aizenshchtein M.D. Tsentrobeznyye nasosy dlia neftianoі promyshlennosty / M.D. Aizenshtein. – М. : Hostoptekhshchbat, 1957. – 363 p.
3. Kolpakov L.H. Tsentrobeznyye nasosy mahystralnykh nefteprovodov / L.H. Kolpakov. – М. : Nedra, 1985. – 184 p.
4. Chyniaiev Y.A. Lopastnyye nasosy : spravochnyye posobyia / Y.A. Chyniaiev.– L. : Mashynostroenye, 1973. – 184 p.
5. Zymyn A.A. Hydravlycheskye raschety nefteproduktov y nasosnykh stasyi / A.A. Zymyn. – М. : Hosnaughtekhyzdat neftianoі y horno-toplyvnoi lyteratury,1962.– 201 p.
6. Cherkaskyi V.M. Nasosy, ventylyatory, kompressory / V. M. Cherkaskyi. – М. : Enerhoatomyzdat, 1984. – 416 p.
7. Ukrpromotor. Invertory serii Goodrive 20. – Kharkiv, 2019. –16 p.
8. Kulinchenko V.R. Hidravlika, hidravlichni mashyny i hidropyryvid : pidruchnyk / V. R. Kulinichenko. – К. : Firma «ІНКОС», 2006. – 616 p.
9. Kulinchenko V.R. Lopatevi i hidrostrumenni bahatofunktsionalni nasosni ustanovky : navch. posibnyk / V. R. Kulinchenko, O.P. Lomeiko. – Melitopol : TOV «Vydavnychiy budynok MMD», 2011. – 223 p.
10. Iaremenko O.V. Ysptytanyia nasosov / O.V. Yaremenko. – М. : Mashynostroenye, 1976. – 223 p.
11. HOST 6134-2007. Nasosy dynamycheskye. Metody uspytanyi. Mezhdunarodnyi standart.
12. Mezhdunarodnyi standart YSO 5198-1987. Nasosy tsentrobeznyye. Pravyla uspytanyi dlia opredeleniya hydravlycheskykh kharakterystyk.

УДК 629.7.036.22

Андреев О.В., к.техн.н., доцент, Загребельна Л. І., к.техн.н., доцент,
Кобець О. В., к.техн.н., доцент

ПЕРЕРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ НА В'ЯЗКІ РІДИНИ

Актуальність роботи пояснюється великим обсягом застосування сучасною промисловістю відцентрових насосів для перекачування в'язких рідин. В енергетиці – це застосування ТЕС і ТЕЦ як резервного палива мазуту, мінеральних олив і мастил на нафтогазовій основі тощо.

Використання паспортних характеристик відцентрових насосів для в'язких речовин потребує їхнього перерахунку. Наведені дані показують актуальність задачі перерахунку характеристик відцентрових насосів на в'язкі речовини.

В нафтовій галузі працюють тисячі відцентрових насосів на нафтоперекачувальних станціях і в технологічних процесах нафтопереробки.

В роботі використовуються сучасні методи перерахунку характеристик відцентрових насосів з води на в'язкі рідини.

Проведені дослідження і аналіз їхніх результатів дають можливість на прикладі застосування АСУ керувати подачею відцентрового насоса в технологічному процесі крекінгу нафтопродуктів .

Представлено аналітичні дослідження методики перерахунків.

Надана характеристика відцентрових насосів шляхом підрахунків коефіцієнтів апроксимації методом найменших квадратів.

Виконані дослідження підтвердили теоретичні висновки про вплив в'язкості рідини на вигляд характеристик відцентрових насосів.

Дослідження показують також, що достатньо висока точність перерахунків характеристик з води на рідину забезпечується для насосів, швидкохідності яких знаходяться в інтервалі $n = 50-130$, тобто для тихохідних і нормальних коліс відцентрових насосів.

З підвищенням якості рідини погіршується обертання валу колеса. Тому виникає необхідність мати характеристики таких насосів для різних частот обертання. Побудова таких характеристик оснований на теорії подібності відцентрових насосів, з якої отримано так звані формули пропорційності, що дозволяють перерахувати ($Q - H$) характеристики насоса під час зміни частоти обертання.

Приведення характеристик до аналітичного вигляду дозволяє застосувати АСУ регулювання подачі. Засіб регулювання за допомогою зміни частоти обертання забезпечує суттєве зниження витрати електроенергії.

Наведені дані показують актуальність задачі перерахунку характеристик відцентрових насосів на в'язкі речовини.

Ключові слова: відцентрові насоси, частота обертання, мазут, в'язкість, ККД, коефіцієнт перерахунків подачі.

Андреев А.В., к. техн. н., доцент, Загребельная Л.И., к. техн. н., доцент,
Кобец Е.В., к. техн. н., доцент

ПЕРЕРАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ НА ВЯЗКИЕ ЖИДКОСТИ.

Актуальность работы объясняется большим объемом применения современной промышленностью центробежных насосов для перекачки вязких жидкостей. В энергетике – это применение ТЭС и ТЭЦ в качестве резервного топлива мазута, минеральных масел и смазок на нефтегазовой основе и т.д.

Использование паспортных характеристик центробежных насосов для вязких веществ требует их пересчета. Приведенные данные показывают актуальность задачи пересчета характеристик центробежных насосов на вязкие вещества.

В нефтяной отрасли работают тысячи центробежных насосов на нефтеперекачивающих станциях и в технологических процессах нефтепереработки.

В работе используются современные методы пересчета характеристик центробежных насосов с воды на вязкие жидкости.

Проведенные исследования и анализ их результатов дают возможность на примере применения АСУ управлять подачей центробежного насоса в технологическом процессе крекинга нефтепродуктов.

Даны аналитические исследования методики пересчета.

Приведена характеристика центробежных насосов, полученная путем расчетов коэффициентов аппроксимации методом наименьших квадратов.

Выполненные исследования подтвердили теоретические данные о влиянии вязкости жидкости на вид характеристик центробежных насосов.

Исследования показывают также, что достаточно высокая точность пересчета характеристик для перехода с воды на другую жидкость реализуется для насосов, быстроходности которых находятся в интервале $n = 50-130$, то есть для тихоходных и нормальных колес центробежных насосов.

С улучшением качества жидкости ухудшается вращение вала колеса. Поэтому возникает необходимость иметь характеристики таких насосов для разных частот вращения. Построение таких характеристик основано на теории сходства центробежных насосов, из которой получены так называемые формулы пропорциональности, которые позволяют пересчитать ($Q - H$) характеристики насоса во время изменения частоты вращения.

Приведение характеристик к аналитическому виду позволяет применить АСУ регулирования подачи. Способ регулирования с помощью изменения частоты вращения обеспечивает существенное снижение затрат электроэнергии.

Приведенные данные показывают актуальность задачи пересчета характеристик центробежных насосов на вязкие вещества.

Ключевые слова: центробежные насосы, частота вращения, мазут, вязкость, ККД, коэффициент пересчета подачи.

Andreev O.V., Zagrebelnaya L.I., Kobets O.V.

CONVERSION OF CHARACTERISTICS OF CENTRIFUGAL PUMPS TO VISCOUS LIQUIDS

The urgency of the work is due to the large use of modern industry centrifugal pumps for pumping viscous liquids. In the energy sector, this is the use of fuel oil and thermal power plants, mineral oils and oil and gas-based lubricants as reserve fuel, and so on.

The use of the characteristics of centrifugal pumps for viscous substances requires their recalculation. These data show the relevance of the problem of recalculating the characteristics of centrifugal pumps for viscous substances.

In the oil industry, thousands of centrifugal pumps operate at oil pumping stations and in oil refining processes.

The conducted researches and the analysis of their results give the chance to control giving of the centrifugal pump in technological process of cracking of oil products on an example of application of ACS.

Analytical researches of a technique of recalculations are given.

The characteristic of centrifugal pumps by calculations of approximation coefficients by the method of least squares is given.

The performed studies confirmed the theoretical data on the influence of liquid viscosity on the appearance of the characteristics of centrifugal pumps.

Studies also show that a sufficiently high accuracy of calculations of characteristics from water to liquid is provided for high-speed pumps which are in the range $n = 50-130$, that is for low-speed and normal wheels of centrifugal pumps.

With the improvement of fluid quality, the rotation of the wheel shaft deteriorates. Therefore, there is a need to have the characteristics of such pumps at different speeds. The construction of such characteristics is based on the theory of similarity of centrifugal pumps, from which the so-called proportionality formulas are obtained, which allow to list ($Q-H$) the characteristics of the pump when the speed changes.

Bringing characteristics to the analytical form allows you to use the Ace feed control. The means of regulation by changing the speed provides a significant reduction in electricity consumption.

These data show the relevance of the problem of recalculating the characteristics of centrifugal pumps for viscous substances.

Keywords: centrifugal pumps, speed, fuel oil, viscosity, efficiency, feed conversion factor.