ecopump-rus
МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
РАПН

УДК 621.671.22

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕСТАТИСТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ КПД ОТ ПОДАЧИ НАСОСОВ ДВУХСТОРОННЕГО ВХОДА

Акимов Станислав Викторович [1] (к.т.н.)

[1] Филиал АО «ГМС Ливгидромаш» в г. Москва, ГНТЦ, akimov@hms.ru

Аннотация:

RU: В статье приведены результаты анализа энергетических характеристик насосов двухстороннего входа отечественных и зарубежных производителей. Предложены статистические зависимости КПД от подачи и коэффициента быстроходности.

EN: The article contains the result of double-suction pump performance comparison for a several number of manufacturers. Statistical dependencies for energy efficiency based on specific speed and pump performance are advised.

Ключевые слова:

RU: насос двухстороннего входа, КПД, статистический анализ

EN: double suction pump, energy efficiency, statistical analisys

Центробежные двухопорные насосы с главным разъемом корпуса по оси ротора и рабочим колесом двухстороннего входа (далее – насосы типа Д, насосы) широко применяются во многих отраслях промышленности (нефтехимическая и газовая отрасль, энергетика и др.), а также в водном хозяйстве. По классификации ГОСТ 32601-2022 [1] насосы типа Д соответствуют типу ВВ1.

Конструктивные особенности насосов типа Д определяются в первую очередь наличием симметричного двухпоточного рабочего колеса, благодаря чему обеспечиваются компенсация осевых сил, действующих на ротор, и более высокие кавитационные качества по сравнению с другими типами центробежных насосов. Кроме этого, подвод и отвод насосов типа Д чаще всего спроектированы таким образом, что оси всасывающего и напорного патрубков совпадают, реализуя конструкцию «ин-лайн», которая во многих случаях является предпочтительной с точки зрения разводки трубопроводов на месте эксплуатации, а также положительно влияет на способность насосов воспринимать нагрузки, действующие со стороны всасывающего и напорного трубопроводов.

Следствием перечисленных преимуществ является то, что насосы типа Д применяются, как правило, при перекачке больших объемов жидкости при

Библиографическая ссылка

Акимов С.В., Определение среднестатистических зависимостей КПД от подачи насосов двустороннего входа.

Получен: 01.09.2024
Рецензия: 10.09.2024
Одобрен: 10.10.2024
Опубликован: 06.12.2024

© 2024 Все права сохранены за авторами статьи. Статья публикуется в открытом доступе на основе лицензии Creative Commons Attributions (CC BY-NC-ND). Условия использования: https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0

относительно небольших и средних значениях напора. Мощность насосов лежит в пределах от нескольких десятков до нескольких тысяч киловатт, что обусловливает целесообразность применения энергоэффективных конструкций.

Таким образом, возникает необходимость количественной оценки энергоэффективности насосов типа Д. В качестве критерия энергоэффективности, как правило, используется максимальное значение КПД в рабочей области подач насоса, или, другими словами, КПД в оптимальном режиме работы насоса – η_{bep} (где индекс «bep» расшифровывается как «best efficiency point»).

Требуемое значение η_{bep} может быть непосредственно указано в нормативной документации (см., например, [2]) или в опросных листах. В этом случае значение η_{bep}, как правило, выбирается в соответствии с известными насосами, для которых имеется опыт применения в аналогичных или похожих условиях эксплуатации.

При разработке новых насосов с повышенным КПД часто используют статистические данные [3], [4] для оценки уровня η_{bep}.

Однако, необходимо принимать во внимание, что в реальных условиях подача насосов чаще всего отличается от номинальной, находясь в пределах рабочего диапазона подач. Вследствие этого, на общую энергоэффективность насоса влияет не только значение η_{bep} в оптимальном режиме, но и значения η_{PL} и η_{OL} для подач на нижней и верхней границах предпочтительного диапазона (Q_{PL} и Q_{OL}), соответственно (здесь индексы «PL» и «OL» расшифровываются как «part load» и «overload», соответственно).

Требования к значениям η_{PL} и η_{OL} для одноступенчатых консольных и линейных насосов, многоступенчатых вертикальных и скважинных погружных насосов, предназначенных для перекачивания чистой воды, приводятся в ГОСТ 33970-2016 [5]. Эти требования, в свою очередь, заимствованы из работы [6]. Считается, что насос удовлетворяет требованиям энергоэффективности, если его характеристика $\eta=f(Q)$ обходит контрольные точки η_{bep}, η_{PL}, η_{OL} сверху.

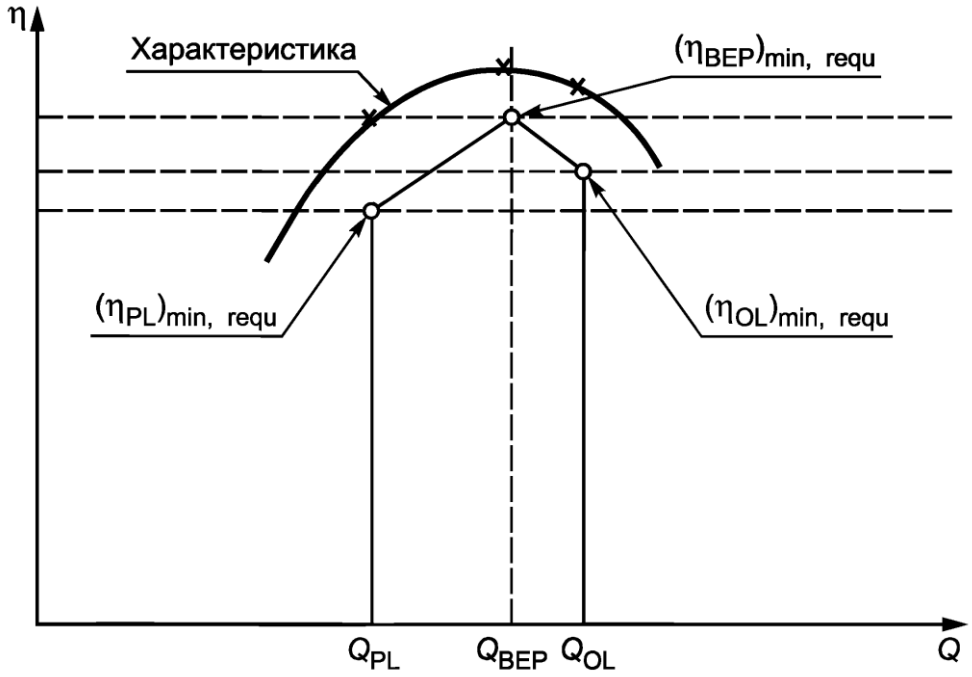

Рисунок 1. Концепция определения энергоэффективности по [5]

Аналогичный способ оценки энергоэффективности для насосов типа Д в настоящее время отсутствует, в связи с чем в рамках настоящей работы была поставлена цель определить соотношения η_{PL}, η_{OL} и η_{bep} путем статистического анализа характеристик ряда отечественных и зарубежных насосов двухстороннего входа.

Всего было проанализировано 73 каталожных характеристики насосов компаний KSB (марка Omega), Ruhrpumpen (марки HSC, HSD, ZW), Goulds Pumps (марки 3409, 3410, 3420), PumpWorks610 (марка PWD), CNP (марка NSC), Wilo (марка Atmos TERA) и АО «ГМС Ливгидромаш» (марка DeLium).

В соответствии с [3] известно, что форма характеристики КПД в первую очередь зависит от коэффициента быстроходности (рисунок 2):

$$n_q = \frac{n\sqrt{Q}}{H^{0,75}} \qquad (1)$$

где n – частота вращения ротора, об/мин; Q – подача, м^3/с; H – напор ступени, м.

При этом, для насосов типа Д в качестве Q принимается подача одного потока двухпоточного рабочего колеса, то есть половина полной подачи насоса.

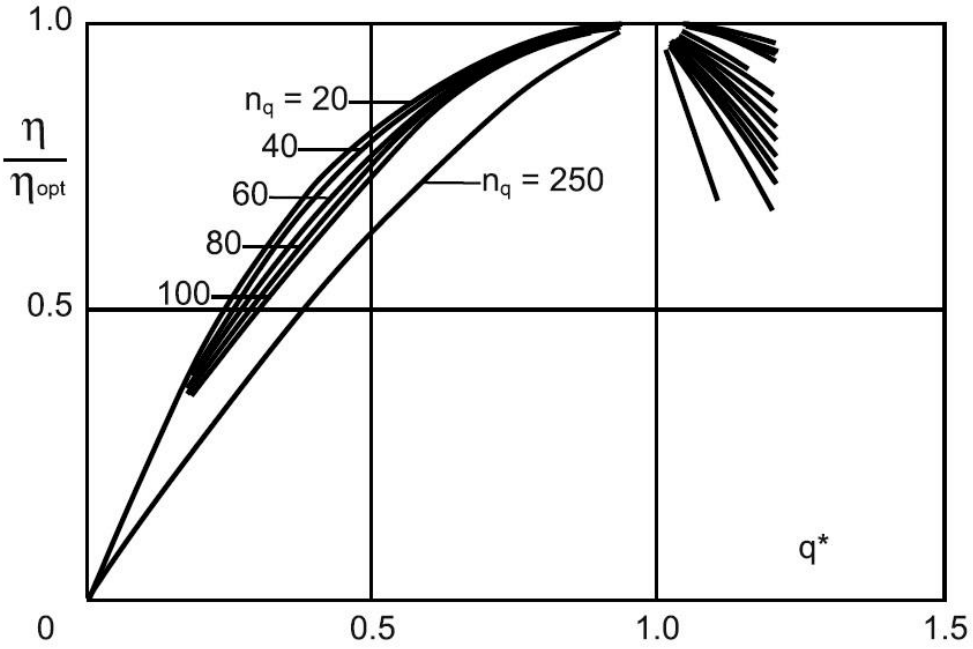

Рисунок 2. Влияние n_q на форму характеристики $\eta = f(Q)$ [3]

В России коэффициент быстроходности принято определять по формуле (2) и обозначать n_s. Данное определение будет использоваться в настоящей работе.

$$n_s = \frac{3{,}65 n\sqrt{Q}}{H^{0{,}75}} \qquad (2)$$

Необходимо отметить, что в ГОСТ 33970-2016 отсутствует градация значений η_{PL}, η_{OL} по n_s, что, по-видимому, является некоторым упрощением.

Анализ характеристик насосов типа Д было решено проводить без упрощений, для чего опытным путем было выбрано четыре значения n_s – 40, 100, 130, 160. Выбор типоразмеров насосов для анализа, выполнялся таким образом, чтобы их n_s отличался от указанных значений не более чем на 5% в большую или меньшую сторону.

Анализ характеристик был выполнен в диапазоне подач от 0,7•Q_{bep} до 1,2•Q_{bep}, что укладывается в рабочий диапазон большинства исследуемых насосов. На характеристиках насосов были измерены значения η на относительных подачах $q = Q/Q_{bep}$ = 0,7; 0,8; 0,9; 1; 1,1; 1,2.

Графики зависимости относительного КПД (η_{rel}) от q приведены на рисунках 3–6, где $\eta_{rel}=\eta/\eta_{bep}$. Осреднение выполнено путем построения в программе Microsoft Excel линий трендов в виде полиномов 3-го порядка.

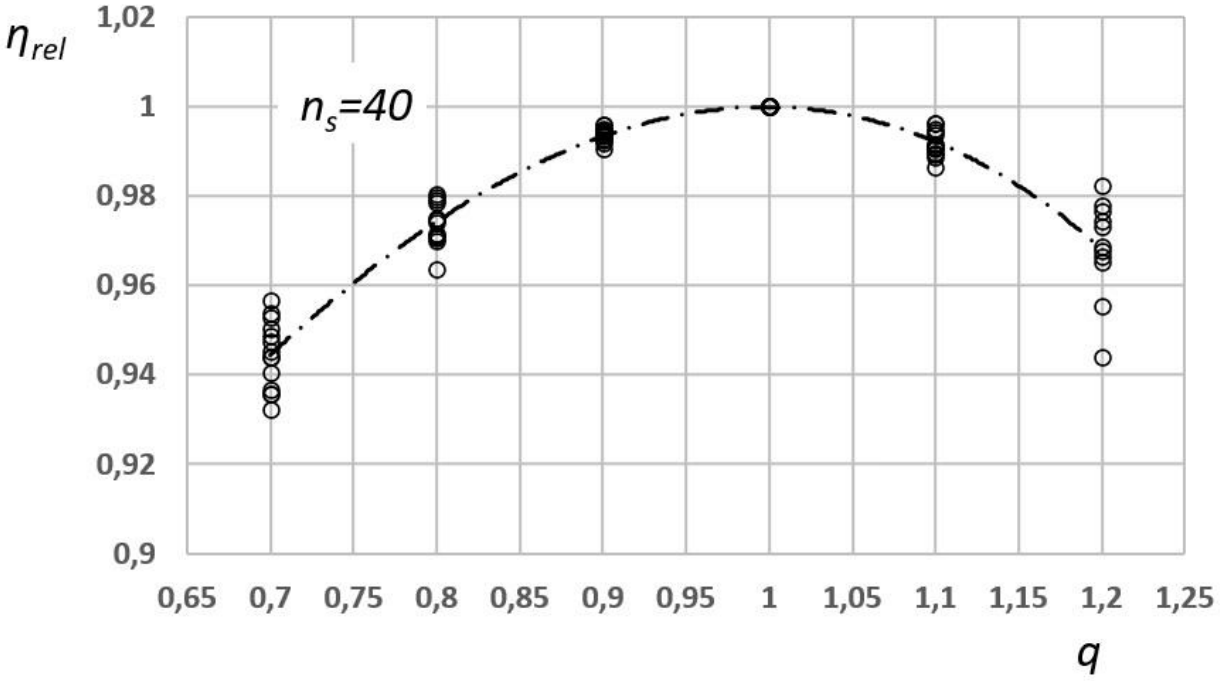

Рисунок 3. Зависимость $\eta_{\text{rel}}=f(q)$ при $n_{\text{s}}=40$

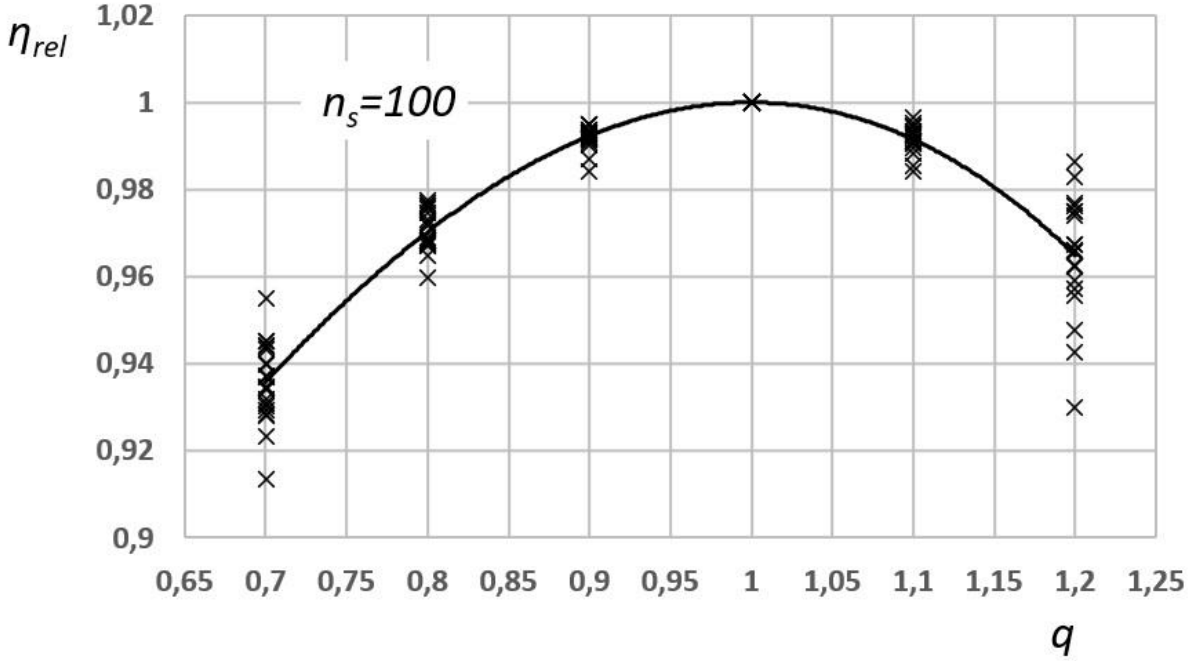

Рисунок 4. Зависимость $\eta_{\text{rel}}=f(q)$ при $n_{\text{s}}=100$

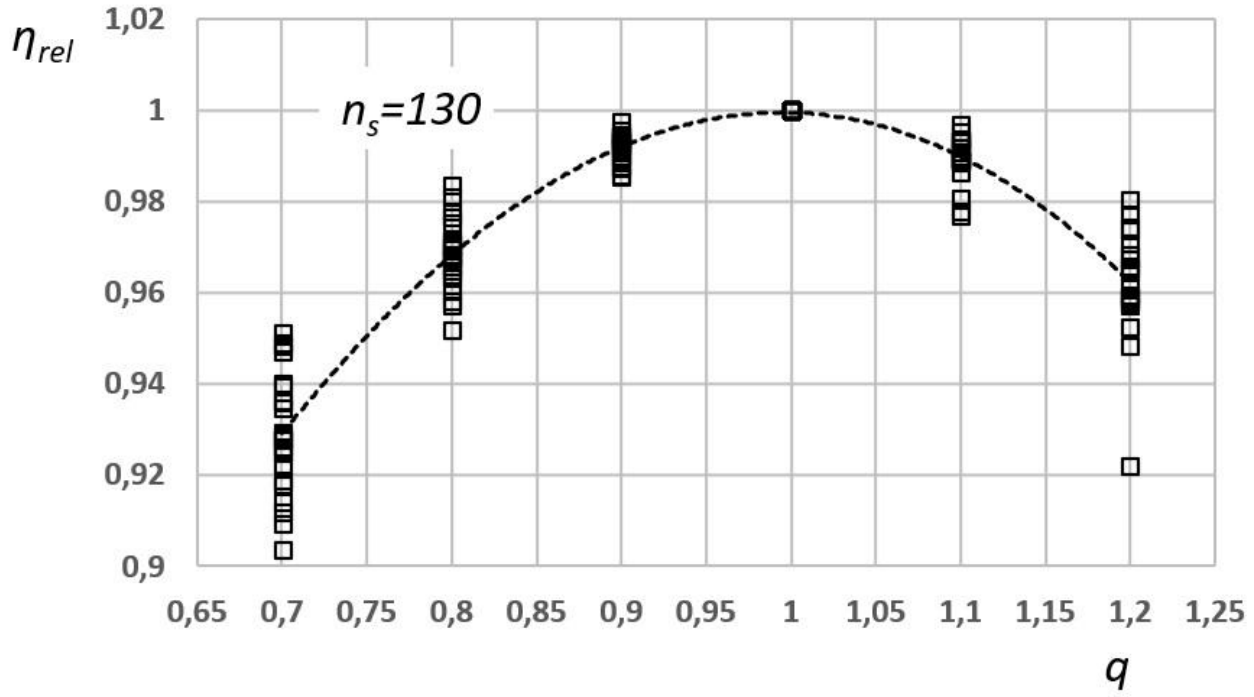

Рисунок 5. Зависимость $\eta_{\text{rel}}=f(q)$ при $n_{\text{s}}=130$

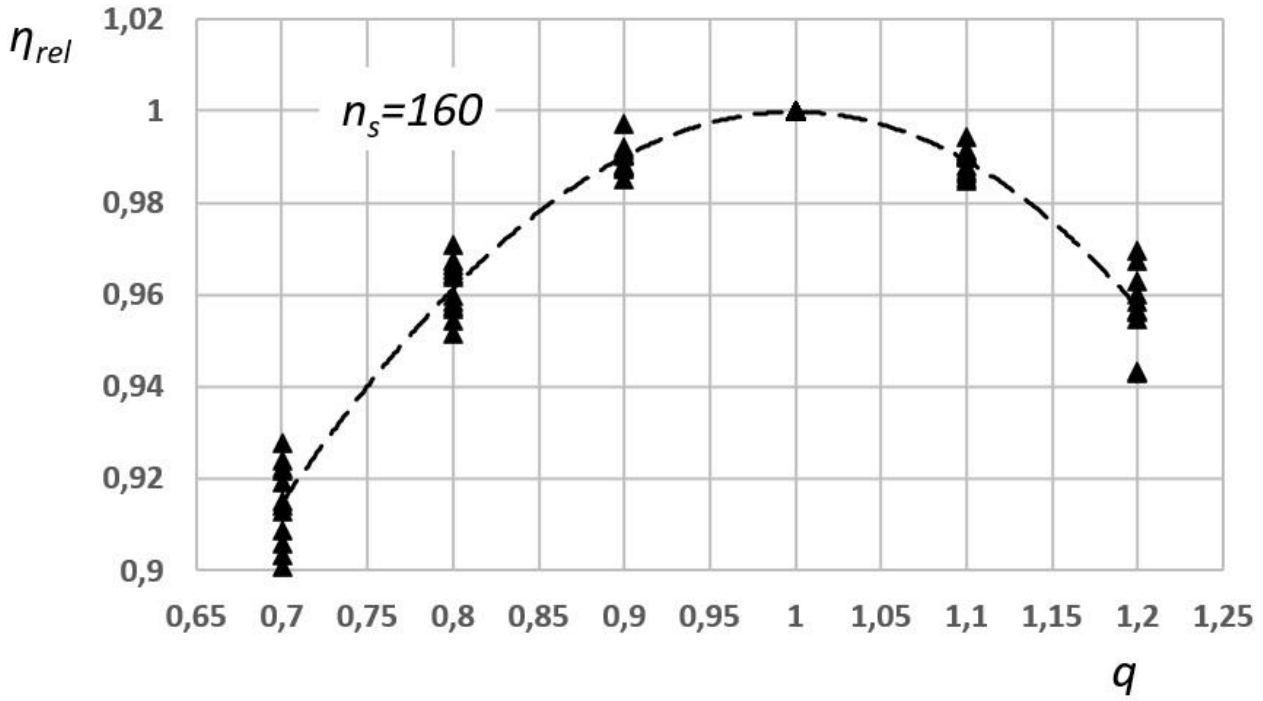

Рисунок 6. Зависимость $\eta_{\text{rel}}=f(q)$ при $n_{\text{s}}=160$

Общий график зависимостей $\eta_{\text{rel}} = f(q)$ приведен на Рисунке 7.

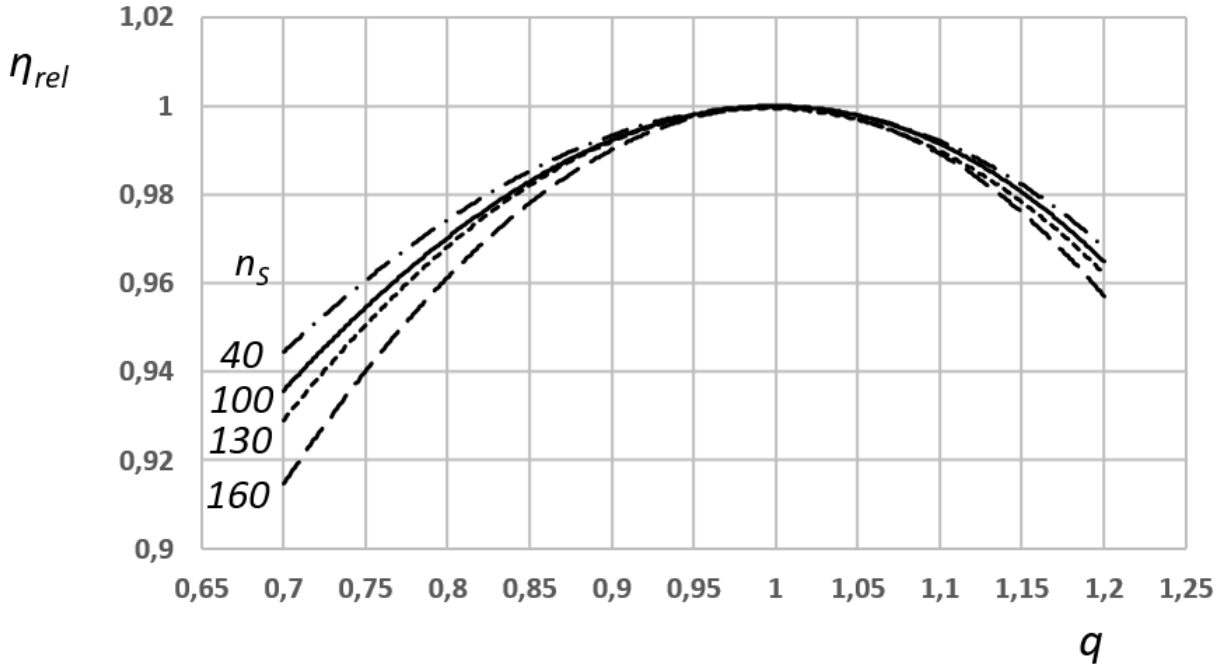

Рисунок 7. Общий график зависимостей $\eta_{\text{rel}}=f(q)$

Формулы аппроксимирующих кривых, соответствующие рисункам 3–6, приведены ниже:

$$\eta_{rel,40} = -0{,}2951 \cdot q^3 + 0{,}169 \cdot q^2 + 0{,}5437 \cdot q + 0{,}5822 \quad (3)$$

$$\eta_{rel,100} = -0{,}3144 \cdot q^3 + 0{,}1326 \cdot q^2 + 0{,}6771 \cdot q + 0{,}5047 \quad (4)$$

$$\eta_{rel,130} = -0{,}1441 \cdot q^3 - 0{,}4244 \cdot q^2 + 1{,}2716 \cdot q + 0{,}2963 \quad (5)$$

$$\eta_{rel,160} = -0{,}2005 \cdot q^3 - 0{,}4121 \cdot q^2 + 1{,}4234 \cdot q + 0{,}189 \quad (6)$$

Для упрощенной оценки (см. Рисунок 1), аналогично представленной в ГОСТ 33970-2016, значения относительного КПД на границах рабочего диапазона – $\eta_{\text{PL,rel}} = \eta_{\text{PL}}/\eta_{\text{bep}}$ и $\eta_{\text{OL,rel}} = \eta_{\text{OL}}/\eta_{\text{bep}}$ для различных n_{s} представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Значения относительного КПД

n_s	$\eta_{PL,rel}$	$\eta_{OL,rel}$
40	0,945	0,968
100	0,936	0,965
130	0,929	0,962
160	0,915	0,957

Для определения $\eta_{PL,rel}$ и $\eta_{OL,rel}$ для промежуточных значений n_s на Рисунке 8 приведены аппроксимирующие зависимости $\eta_{rel}=f(n_s)$. В диапазоне значений n_s = 160…200 участки кривых получены путем экстраполяции.

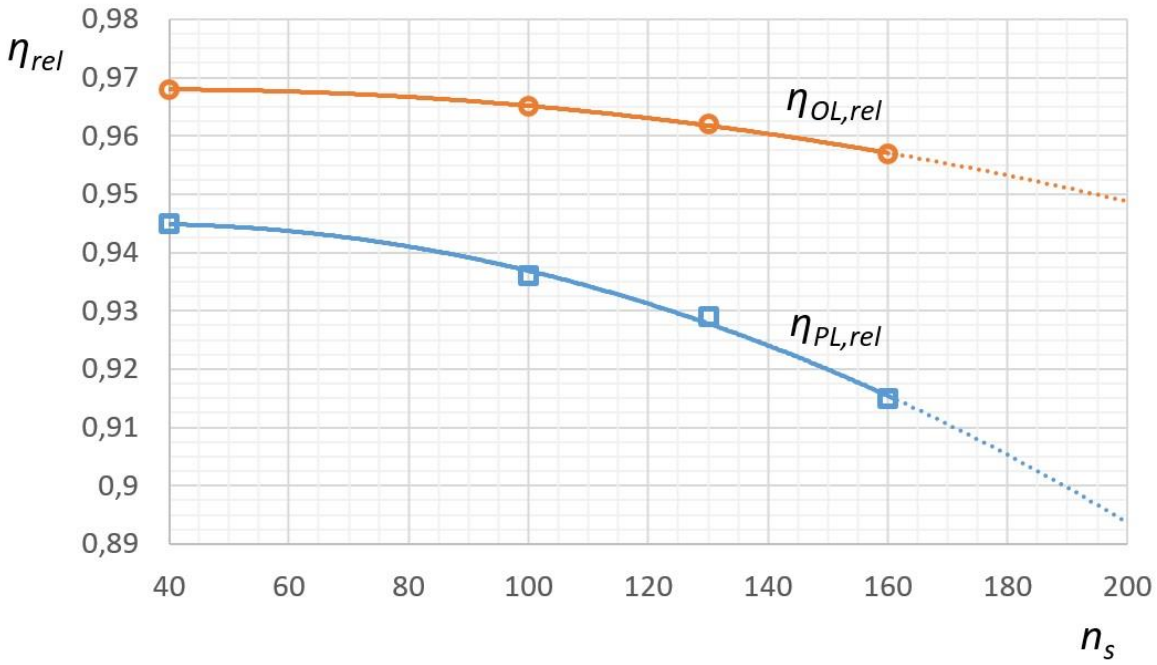

Рисунок 8. Зависимость $\eta_{rel}=f(n_s)$

Указанным зависимостям соответствуют формулы (7), (8) аппроксимирующих кривых:

$$\eta_{OL,rel} = -7{,}323 \cdot 10^{-7} \cdot n_s^2 + 5{,}571 \cdot 10^{-5} \cdot n_s + 0{,}967 \quad (7)$$

$$\eta_{PL,rel} = -1{,}869 \cdot 10^{-6} \cdot n_s^2 + 1{,}286 \cdot 10^{-4} \cdot n_s + 0{,}943 \quad (8)$$

Проведем, в качестве примера, анализ характеристики КПД насоса DeLium 200-560A [7] с параметрами Q_{bep}=930 м^3/ч, H=99 м, n=1450 об/мин, η_{bep}=84%, n_s=60,6.

В соответствии с [3] статистическое значение КПД насоса на оптимальном режиме составляет 83%.

В соответствии с формулами (3) и (4) находим: $\eta_{OL,rel}$=0,9677; $\eta_{PL,rel}$=0,9439. Тогда, расчетный КПД на границах рабочего диапазона составит: $\eta_{OL,rel}$=0,9677•0,83=0,803; $\eta_{PL,rel}$=0,9439•0,83=0,783.

По результатам расчета, на рисунке 9 приведено сопоставление каталожной характеристики насоса Delium 200-560A с расчетными статистическими значениями η_{PL}, η_{OL}, η_{bep}.

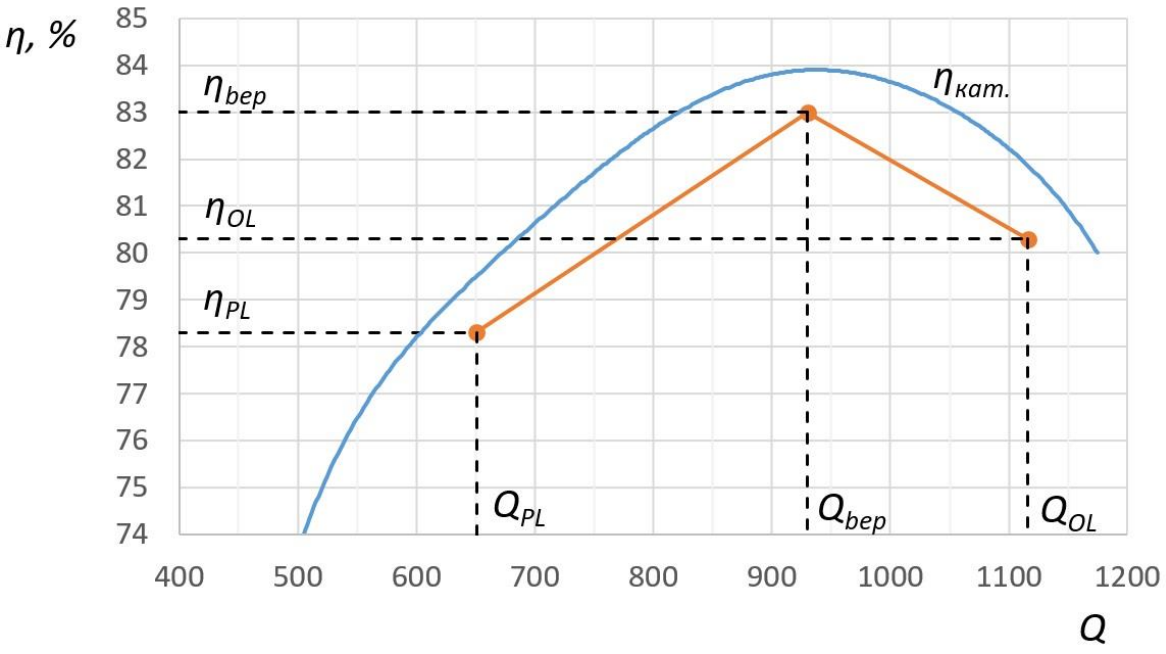

Рисунок 9. Пример оценки КПД насоса Delium 200-560A

Как видно из рисунка 9, КПД насоса Delium 200-560A выше расчетных статистических значений КПД как на оптимальной подаче, так и на подачах, составляющих 70% и 120% номинальной.

Заключение:

1. В результате анализа характеристик КПД 73-х зарубежных и отечественных насосов двухстороннего входа получены зависимости КПД от подачи в относительном выражении;

2. Выявлено влияние коэффициента быстроходности n_s на форму характеристики КПД. Учитывая это, в рамках работы были определены зависимости значений КПД на границах рабочего диапазона подач от n_s. Данные зависимости для удобства использования представлены как в графической форме, так и в виде формул;

3. Результаты настоящей работы могут быть использованы для оценки уровня энергоэффективности как существующих, так и вновь проектируемых конструкций насосов двухстороннего входа.

Список литературы

1. ГОСТ 32601-2013 (ISO 13709:2009). Насосы центробежные для нефтяной, нефтехимической и газовой промышленности. Общие технические требования.
2. ОТТ-23.080.00-КТН-270-19. Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Насосы магистральные, подпорные и агрегаты на их основе. Общие технические требования. 223 с.
3. Johann Friedrich Gülich. Centrifugal Pumps. 4th ed., 2020 — 1264 p.
4. Кузнецов А.В., Панаиотти С.С., Савельев А.И. Автоматизированное проектирование многоступенчатого центробежного насоса / Учебное пособие. — Калуга, 2013. — 170 с., ил. 54.
5. ГОСТ 33970-2016 (EN 16480:2016). Энергетическая эффективность. Насосы центробежные для воды. Определение минимально необходимых значений коэффициента полезного действия и индекса энергетической эффективности.
6. Stoffel, B. and Lauer, J., «Attainable efficiencies of volute casing pumps», Summary of the final report on the research project for Europump, Technical University of Darmstadt, 1998.
7. Насосы двухстороннего входа DeLium (Делиум). Технический каталог. 84 с.

***

Отказ от ответственности: Мнение авторов статьи остается их личным мнением. Организаторы конференции не несут ответственности за все возможные негативные последствия, связанные с применением положений, изложенных в данной статье, третьими лицами.

***

©Международная научно-техническая конференция ECOPUMP-RUS «Энергоэффективность и инновации в насосостроении», 24 октября 2024 г., МВЦ «Крокус-Экспо», Москва. Организатор – Российская ассоциация производителей насосов (РАПН) / Сборник докладов