

УДК 621.671

Исследование коленных подводов осевого насоса

А. С. Мандрыка¹, А. С. Игнатъев², В. А. Мандрыка³

^{1,2,3}Сумский государственный университет, ул. Римского-Корсакова, 2, 40007, Сумы, Украина

Correspondent Author's Address:

¹3.143dec@mail.ru

²ignatiev221214@gmail.com

Приводятся результаты экспериментального исследования на аэродинамическом стенде пяти модельных коленных подводов круглого сечения с углом поворота потока на 90°. Отличительной особенностью подводов является уменьшенные осевые размеры. Зондированием потока определены потери полного давления в подводах и поля скоростей на выходе, выполнена их сравнительная оценка. На основании полученных данных проведено сравнение коленных подводов по гидравлическим потерям и организации потока на выходе.

Ключевые слова: Коленный подвод, Насос, Экспериментальное исследование, Аэростенд, Поток, Зондирование, Гидравлические потери.

1. ВВЕДЕНИЕ

Одной из ключевых проблем отечественного насосостроения является улучшение массогабаритных характеристик выпускаемого насосного оборудования, снижение его материалоемкости, энергоемкости и, как следствие, повышение конкурентоспособности. Для осевых лопастных насосов с коленным подводом и отводом жидкости от рабочего колеса, решение указанной проблемы возможно, прежде всего, за счет уменьшения размеров и массы основных корпусных деталей, таких как подвод и отвод (разумеется без ухудшения гидравлических качеств).

2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В данной работе рассматривается коленные подводы круглого сечения с углом поворота потока на 90°. По условиям работы в насосе к ним предъявлялись следующие требования: 1) минимальные осевые габариты; 2) как можно меньшее гидравлическое сопротивление; 3) поле скоростей на выходе максимально приближенное к равномерному.

В настоящее время такие подводы изучены недостаточно. В литературе содержится ограниченное количество информации по данному вопросу [1-3]. Теоретическое решение задачи вызывает большие трудности, так как сложное про-

странственное течение вязкой жидкости в каналах подобной конфигурации не поддается точному математическому описанию [4-6]. Поэтому интерес представляет физический эксперимент по исследованию таких подводов. В силу сказанного и было предпринято настоящее исследование.

Всего было исследовано пять модельных коленных подводов различной конфигурации № 1–5. Подвод имел одинаковый диаметр входа $D_1 = 0,30$ м и выхода $D_2 = 0,18$ м и, следовательно, одинаковую степень сужения потока (была предопределена конструкцией натурального насоса).

Подвод № 1 (рис. 1 а) представлял собой комбинацию из колена 1 со встроенными направляющими лопатками 2 и прямоосного конфузора 3 с криволинейной образующей. Форма образующей определена из условия линейного закона изменения расходной скорости вдоль оси конфузора.

Подвод № 2 образован из подвода № 1 путем исключения одной направляющей лопатки у вогнутой стороны колена. Дело в том, что по результатам испытаний подвода № 1 в этом месте наблюдалось усиленное торможение потока с одновременным ростом потерь. Устранением направляющей лопатки предполагалось несколько «освободить» поток и тем самым уменьшить потери энергии.

Подвод № 3 отличался от подвода № 1 числом и расположением направляющих лопаток. Так, подвод № 1 имел пять неравномерно расположенных лопаток (с постепенным увеличением шага в направлении от вогнутой стороны колена к выпуклой). У подвода № 3 количество лопаток было шесть и расположены они были равномерно, то есть с одинаковым шагом. Количество, расположение и профиль лопаток принимались с учетом рекомендаций [2, 7].

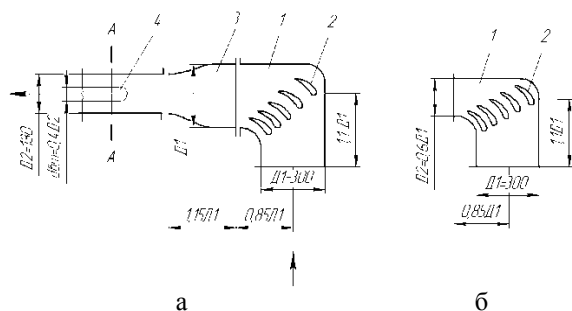


Рис. 1. Испытанные коленные подводы: 1 – колено; 2 – встроенные направляющие лопатки, 3 – прямоосный конфузор, 4 – обтекатель

Подводы № 4–5 выполнены по аналогии с коленами прямоугольного сечения [2] с той только разницей, что вместо тонких направляющих лопаток применены профилированные. Подвод № 4 имел пять неравномерно расположенных лопаток (рис. 1 б) с увеличением шага от вогнутой стороны колена к выпуклой. У подвода № 5 лопаток было шесть и располагались они равномерно. Преимуществом этих вариантов подвода были меньшие осевые размеры в сравнение с подводами № 1–3.

При проектировании коленных подводов учитывались материалы работ [1–3, 7].

Коленные подводы подвергались испытанию на аэродинамическом стенде открытого типа. Ставилась цель:

- определение гидравлических потерь энергии в подводах;
- исследование структуры потока за подводами и на этом основании выявление подвода с лучшими гидравлическими качествами.

Испытания проводились на воздухе скоростью потока во входном сечении подвода ~ 22 м/с, что соответствовало критерию Рейнольдса $Re = 9,9 \cdot 10^5$, т. е. режиму автомодельности [8–9].

Все подводы испытывались с цилиндрическим обтекателем 4 диаметром (рис. 1 а), имитирующим втулку рабочего колеса. На входе подвода устанавливался приемный насадок с лемнискатным профилем (для создания равномерного поля скоростей).

Параметры потока измерялись пятиканальными сферическими зондами на расстоянии одного диа-

метра D_2 за подводом (сечение А-А). Методика испытаний состояла в измерении зондами поля скоростей и давлений за испытуемым подводом при неизменных давлении на входе (равнялось атмосферному) и расходе воздуха Q . Надежность полученных данных проверялась сопоставлением расхода, подсчитанного по результатам зондирования потока и измеренного соплом Вентури.

Гидравлические качества подводов оценивались коэффициентом потерь полного давления в подводе (ζ_n) и коэффициентами, характеризующими профиль скорости на выходе из подвода ($\Delta V_z, \delta_{V_z}, \Delta V_u, \delta_{V_u}$).

Коэффициент потерь полного давления определяли в зависимости от осредненных по сечению потерь полного давления в подводе, средней по сечению расходной составляющей скорости на выходе из подвода, площади выходного сечения подвода F_n и плотности воздуха ρ .

Коэффициенты неравномерности $\Delta V_z, \delta_{V_z}$ для расходной составляющей скорости и $\Delta V_u, \delta_{V_u}$ для окружной составляющей подсчитывались согласно выражениям:

$$\Delta V_z = \frac{V_{z \max} - V_{z \min}}{\bar{V}_z}, \quad (1)$$

$$\delta V_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (V_{zi} - \bar{V}_z)^2}{N - 1}}, \quad (2)$$

$$\Delta V_u = \frac{V_{u \max} - V_{u \min}}{\bar{V}_z}, \quad (3)$$

$$\delta V_u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N V_{ui}^2}{N}}, \quad (4)$$

Формулы (1) – (4) относятся к элементарному кольцевому сечению, расположенному на радиусе r ; V_{zi}, V_{ui} – расходная и окружная составляющая скорости потока воздуха в i -й точке на радиусе r ; i – порядковый номер точки замера; $N = 12$ – количество мерных точек на радиусе r ; \bar{V}_z – осредненная по окружности расходная составляющая скорости потока на радиусе r . Величины радиусов r определяли из условия равенства площадей элементарных кольцевых сечений (всего было 7 сечений). Крайние точки замера отстояли от стенок трубопровода и

обтекателя на расстоянии $\sim 1,2$ диаметра сферы зонда.

В результате проведенных исследований и обработки экспериментального материала были получены следующие величины коэффициента потерь полного давления (табл. 1).

Как видно из таблицы 1, наименьшая величина потерь имела место в подводе № 2. Вместе с тем, организация потока в его выходном сечении была не лучшей (см. ниже). Сравнение указанно-

го варианта подвода с вариантом № 1 показало, что удаление направляющей лопатки у вогнутой стороны колена привело к снижению потерь: ζ_{Σ} уменьшился от 0,134 до 0,075. Неравномерность потока также уменьшилась, в основном в районе малых радиусов, соответствующих привтулочной области течения (рис. 2; кривые $\delta V_z = f(\bar{r})$, $\delta V_u = f(\bar{r})$). На рис. 2 относительный радиус $\bar{r} = r / R_{\text{тр}}$, где $R_{\text{тр}}$ – радиус сечения трубопровода в месте измерения потока.

Таблица 1 – Потери полного давления в испытанных коленных подводах

Коленные подводы	Подвод № 1	Подвод № 2	Подвод № 3	Подвод № 4	Подвод № 5
Коэффициент потерь	0,134	0,075	0,115	0,147	0,197

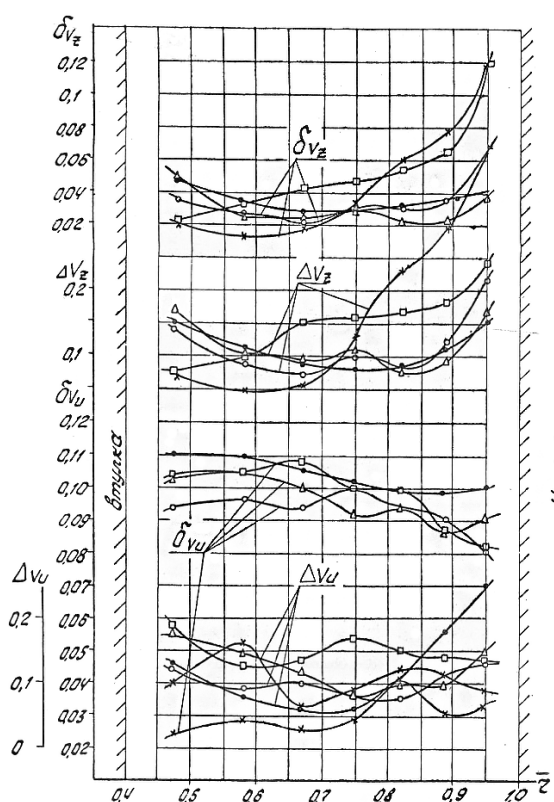


Рис. 2. Распределение коэффициентов неравномерности на выходе из подвода: —●—●— подвод № 1; —○—○— подвод № 2; —Δ—Δ— подвод № 3; —х—х— подвод № 4; —□—□— подвод № 5

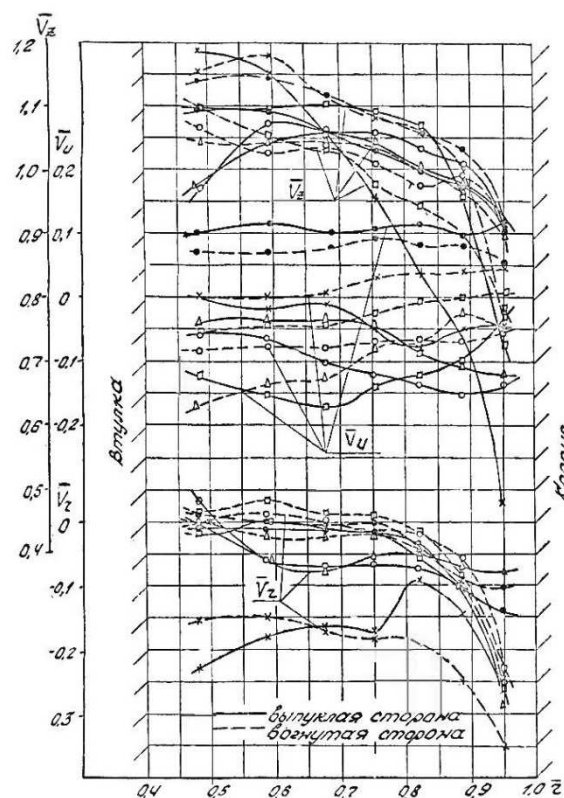


Рис. 3. Распределение скоростей на выходе из подвода в плоскости изгиба колена: —●—●— подвод № 1; —○—○— подвод № 2; —Δ—Δ— подвод № 3; —х—х— подвод № 4; —□—□— подвод № 5

Наиболее благоприятным распределением скоростей на выходе обладает подвод № 3. Коэффициенты неравномерности у него сравнительно меньше и распределены они вдоль радиуса более равномерно. Коэффициент потерь $\zeta_n = 0,115$, тогда как для известных из литературы [2] оптимальных подводов с углом поворота на 90° и таким же поджатием потока этот коэффициент равен 0,118. Отмеченное позволяет утверждать, что данный вариант подвода обладает достаточно высокими гидравлическими качествами.

Несколько хуже, чем у подвода № 3, гидравлические качества и организация потока у подводов № 4–5. Причем, обращает на себя внимание, что увеличение числа направляющих лопаток от пяти неравномерно расположенных (подвод № 4) до шести равномерно расположенных (подвод № 5) привело к увеличению потерь (ζ_n увеличился от 0,147 до 0,197), тогда как такое же изменение числа и расположения направляющих лопаток в случае подводов № 1, 3 дало уменьшения потерь (ζ_n уменьшился от 0,134 до 0,115). Видимо это было связано с большим стеснением потока, имевшим место у подвода № 5.

Для всех подводов характерным является увеличение неравномерности расходной составляющей скорости на периферии и у втулки. В средней части канала явно выделяется область течения с уменьшенной неравномерностью. Причем, протяженность этой области у подвода № 3 существенно больше и захватывает она большие радиуса, то есть простирается дальше на периферию. Обнаруженное перераспределение скоростей важно, поскольку именно в периферийной области, где они наибольшие, очень опасны перепады скоростей, могущие вызывать локальные пики давления и последующую кавитацию на лопастях рабочего колеса натурального насоса.

Для объяснения полученных результатов, а также более глубокого изучения течения через исследуемые подводы строились топограммы безразмерных скоростей в выходном сечении подводов (здесь не приводятся). Рассмотрение указанных топограмм показало, что у подводов № 2–3 изменение осевой скорости вдоль радиуса более плавное, чем, например, у вариантов № 4, 5. В первом случае отклонение от среднего значения составляет 5–10%, во втором – 10–20%. Наблюдаемые локальные пики скоростей у вариантов № 2–3 также менее выражены.

Имевшее место уменьшение коэффициента

потерь ζ_n при увеличении числа направляющих лопаток от 5-ти до 6-ти (подводы № 1–3) объясняется улучшением картины течения на периферийных участках, где оно более равномерно и совершается с меньшими потерями энергии.

Сопоставлением распределения скоростей в окружном направлении легко можно было обнаружить существенную перестройку потока при переходе от подвода № 1 к подводу № 2. Особенно заметна эта перестройка на периферийных радиусах в плоскости изгиба колена (рис. 3), где провалы скоростей у подвода № 2 намного уменьшились.

Примечательно понижение общего уровня на периферии по всему периметру сечения. Отмеченные изменения поля скоростей потока предопределили уменьшение потерь в подводе № 2.

Характерным для всех подводов является резкое падение осевых скоростей у границ канала (у втулки и на периферии).

По распределению окружной скорости трудно судить о преимуществах того или иного варианта подвода. И всё же, следует выделить подводы № 3–4, у которых количество зон повышенной закрученности потока меньше и закрутка потока направлена в одну сторону.

Поля радиальных скоростей весьма неравномерны. В большей степени это касается подводов № 2, 4–5, в меньшей – подвода № 3. Течение в основном направлено от периферии ко втулке (отрицательные радиальные скорости). Имеются зоны положительных радиальных скоростей, указывающих на течение от втулки к периферии. Равенство $\bar{V}_z = 0$ свидетельствует о радиальном равновесии потока.

С точки зрения осесимметричности течения за подводами интерес представляют графические зависимости скоростей от безразмерного радиуса, построенные по результатам зондовых замеров в плоскости изгиба колена (рис. 3) и плоскости, перпендикулярной изгибу колена (рис. 4).

Из сопоставления этих графиков четко прослеживается разница в скоростях у выпуклой и вогнутой сторон канала. По скорости \bar{V}_z эта разница заметно меньше у подвода № 3 (почти на всей длине безразмерного радиуса: 0,55–0,95).

Несколько меньшее различие в скоростях справа и слева по потоку наблюдается в плоскости, перпендикулярной изгибу колена.

Характерное для всех вариантов резкое падение скоростей на периферии связано с подтормаживающим влиянием стенок канала.

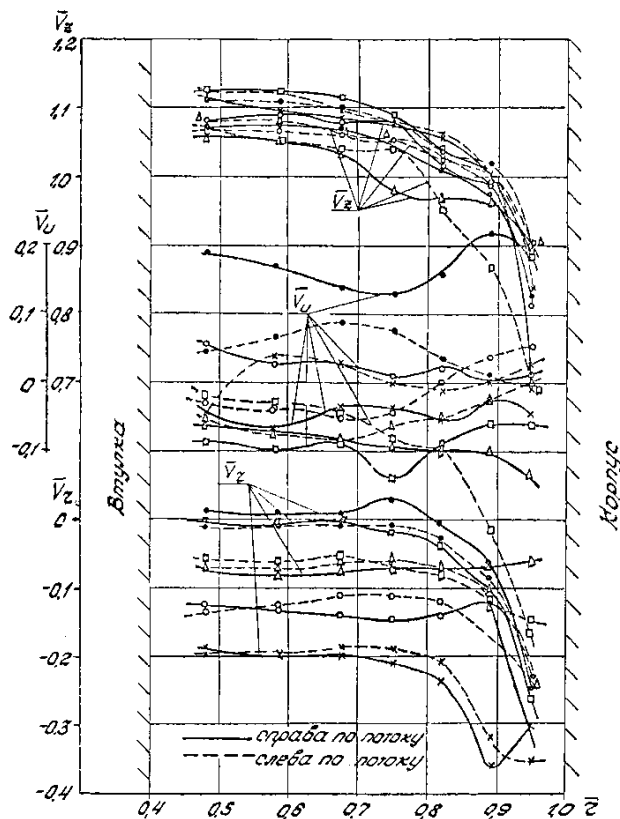


Рис. 4. Распределение скоростей на выходе из подвода в плоскости, перпендикулярной изгибу колена:

—●—●— подвод № 1; —○—○— подвод № 2; —△—△— подвод № 3; —х—х— подвод № 4; —□—□— подвод № 5

3. ВЫВОДЫ

На основании анализа результатов исследования сделаны выводы:

1) исследованные коленные подводы обладают достаточно высокими гидравлическими качествами, однако не один из них не обеспечивает равномерного поля скоростей на выходе;

2) предпочтительным является подвод № 3, имеющий меньший коэффициент потерь полного давления $\zeta_n = 0,115$ и более равномерное поле скоростей на выходе;

3) исследовательские работы по коленному подводу № 3 необходимо продолжить. В частности, следует провести исследования по определению оптимального количества, формы и расположения встроенных направляющих лопаток с точки зрения получения равномерного поля скоростей за подводом.

В этой связи целесообразно заменить трудоёмкий зондовый эксперимент расчетным экспериментом с использованием ЭВМ и современных программных продуктов.

Engineering and research of knee feed for axial-flow pump

A. S. Mandryka¹, A. S. Ihnatyev²

^{1,2} Sumy State University, 2, Rimsky Korsakov Str., 40007, Sumy, Ukraine

In this study the results of the experimental research of five model round cross-section knee feeds on the aerodynamic stand with a flow turning angle of 90 degrees are provided. The distinctive feature of the knee feeds is the reduced axial sizes. By probing of a flow losses of the total pressure in the feeds as well as output velocity fields were defined, their comparative analysis was conducted. On the basis of the obtained data the comparison of the knee feeds in terms of their hydraulic characteristics and the flow arrangement at the output was carried out.

Keywords: Knee feed, Pump, Experimental research, Aerostand, Flow, Probe, Hydraulic characteristics.

Дослідження колінних підведень осьового насоса

А. С. Мандрика¹, О. С. Ігнат'єв²

^{1,2} Сумський державний університет, вул. Римського-Корсакова, 2, 40007, Суми, Україна

Наводяться результати експериментального дослідження на аеродинамічному стенді п'яти модельних колінних підведів круглого перетину з кутом повороту потоку на 90°. Відмінною особливістю підведів є зменшені осьові розміри. Зондуванням потоку визначені втрати

повного тиску в підводах і поля швидкостей на виході, виконане їх порівняльне оцінювання. На підставі отриманих даних проведено порівняння колінних підводівпо гідравлічних втратах і організації потоку на виході.

Ключові слова: Колінний підвод, Насос, Експериментальне дослідження, Аеростенд, Потік, Зондування, Гідравлічні втрати.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богдановский В. И. Исследование форм подводов и отводов осевых насосов. – М. : Труды ВИГМ, вып. XXII, 1958. – 176 с.
2. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / М. : Машиностроение, 1975. – 559 с.
3. Мандрыка А. С. Опытное исследование подводящих устройств осевого насоса // Гидравлические машины. – Харьков, 1982. – Вып. 16. – С. 66–73.
4. Martin Pekrun, Shyam Vir Saxena. Gestaltung und Untersuchung von Saugkrümmern für vertikale Axial- und Halbaxialpumpen // RheiInstahl-Technik, 12, 1974. – Nr. 3. – S. 107–112.
5. Murata S., Mivakc V., Jnava T. Laminaz flow in a curved pipe with varying curvature. Fluid-mech, 1976. – Vol. 73, Part 4. – P. 735–752.
6. Быков А. А. Исследование пространственных течений жидкости в каналах гидромашин. Автореферат на соискание ученой степени канд. тех. наук. – Харьков, 1974. – 24 с.
7. Горлин С. М. Экспериментальная аэродинамика / М : Высшая школа, 1970. – 432 с.
8. Повх И. Л. Аэродинамический эксперимент в машиностроении / М.–Л. : Машиностроение, 1959. – 395 с.
9. Горлин С. М., Слезингер Н. И. Аэродинамические измерения. Методы и приборы / М. : Наука, 1964. – 590 с.

REFERENCES

1. Bogdanovsky V. I. (1958). Issledovanie form podvodov i otvodovosevyhnasosov [Study forms supply and drainage axial pumps]. Trudy WIGM - Transactions of WIGM, 22, [in Russian].
2. Idelchik I. E. (1975). Spravochnik po gidravlicheskim soprotivlenijam [Handbook of hydraulic resistances]. – Moskov : Mechanical Engineering, [in Russian].
3. Mandryka A. S. (1982). Opytnoe issledovanie podvodjashshih ustrojstv oseвого nasosa [Experimental study feeders axial pump]. Gidravlicheskie mashiny [Hydraulic machines], 16, 66–73 [inRussian].
4. Martin Pekrun, ShyamVirSaxena. Gestaltung und Untersuchung von Saugkrümmern für vertikale Axial- und Halbaxialpumpen // RheiInstahl-Technik, 12, 1974. – Nr. 3. – S. 107–112.
5. Murata S., Mivakc V., Jnava T. Laminaz flow in a curved pipe with varying curvature. Fluid mech, 1976. – Vol. 73, Part 4. – S. 735–752.
6. Bykov A. A. (1974). Issledovanie prostranstvennyh techenij zhidkosti v kanalah gidromashin [Study of spatial flows of hydraulic fluid in the canals]. Extended abstract of candidate's thesis, Harkov [in Russian].
7. Gorlin S. M. (1970). Eksperimentalnaja aerodinamika [Experimental Aerodynamics]. Moskov : High School [in Russian].
8. Povh I. L.(1959). Aerodinamicheskij eksperiment v mashinostroenii [Aerodynamic experiment in engineering]. Moscow-Leningrad : Mechanical Engineering [in Russian].
9. Gorlin S. M., Slezinger N. I. (1964). Ajro-dinamicheskie izmerenija [Aerodynamic measurements. Methods and devices]. Moscow : Science [in Russian].