

К вопросу о влиянии коррозионного повреждения рабочего колеса центробежного насоса на производительность ППС

В.М. Приходько

д.т.н., профессор¹, член-корреспондент²

А.В. Шеина

аспирант¹

sheina2016@inbox.ru

¹Московский Автомобильно-Дорожный Государственный Технический Университет (МАДИ), Москва, Россия

²РАН, Москва, Россия

При проведении работ по промывке железнодорожных цистерн на промывочно-пропарочных станциях (ППС) широко используются центробежные чугунные насосы для подачи горячей воды. В данной работе рассмотрены причины, при которых из-за коррозионного повреждения чугунного рабочего колеса центробежного насоса могут происходить перебои в подаче цистерн на ППС.

Материалы и методы

Анализ коррозионного повреждения чугунного рабочего колеса.

Ключевые слова

коррозия, промывка железнодорожных цистерн, снижение напора, снижение подачи

Промывка цистерн на ППС осуществляется горячей водой при температуре до 90°C, которая подается из водяных резервуаров центробежными насосами. На ППС используются стальные, бронзовые и чугунные насосы, причем последние получили наибольшее распространение в силу существенно меньшей себестоимости, относительно немного уступая в долговечности. Поэтому в настоящей работе предметом анализа являются именно чугунные центробежные насосы.

Исследования, проводимые отечественными и зарубежными учеными, показали, что коррозионное повреждение проточных частей и рабочих колес чугунных центробежных насосов является одной из основных причин снижающих их ресурс. По мнению В.Я. Карелина [1], интенсивное коррозионное повреждение рабочего колеса происходит во всех случаях, когда чугунный центробежный насос перекачивает горячую воду. В настоящее время существует большое количество исследований, посвященных проблеме коррозии рабочего колеса [2, 3], часть из которых направлена на изучение коррозии закрытых рабочих колес.

Ф.К. Ньюмен [4] опубликовал фотографию закрытого чугунного рабочего колеса в разрезе (рис. 1). Данное рабочее колесо было установлено в насосе, который подавал воду в газоочистительный аппарат. На лопатках рабочего колеса было обнаружено значительное коррозионное повреждение после 6 месяцев эксплуатации.

Р. Вандагриф [5] описывает случаи, когда применение чугунных центробежных насосов, подающих горячую воду, негативно отразилось на производительности котельной. Автор отмечает, что по причине коррозии чугунных рабочих колес возможно заметное снижение напора, который создает насос.

Снижение напора, вызванное коррозионным повреждением рабочего колеса, может привести к уменьшению перекачиваемого объема воды, что повлияет на эффективность работы котельных, систем теплоснабжения и горячего водоснабжения, и в том числе работы ППС. Выявление причин возможных перебоев в подаче цистерн на ППС из-за коррозионного повреждения чугунного рабочего колеса является предметом настоящего исследования.

Для анализа причин перебоев в подаче цистерн на ППС можно использовать связь между коррозионным повреждением рабочего колеса и снижением напора, создаваемым насосом. Воспользуемся математическими зависимостями, основанными на теории гидродинамических процессов, протекающих в рабочих колесах. Разделим рабочее колесо на отдельные участки. Для каждого участка определим причины снижения напора в зависимости от коррозионного повреждения. Затем отдельные участки объединим в группы, в которых устанавливается максимальная связь между коррозионным повреждением и снижением напора. На основе проведенного анализа можно сделать выводы о влиянии коррозионного повреждения рабочего колеса на снижение напора, и как следствие на снижение эффективности работы ППС.

В качестве объекта исследования было выбрано закрытое чугунное рабочее колесо (рис. 2).

Данное рабочее колесо было установлено в центробежном насосе, который перекачивал горячую воду при температуре 70°C в течение 7 лет. Особенности графика водоподдачи и условий эксплуатации выяснить не удалось, однако, в течение всего периода работы насос останавливался несколько раз для проведения ремонтных работ трубопровода. По истечению семилетнего срока службы насос был демонтирован.

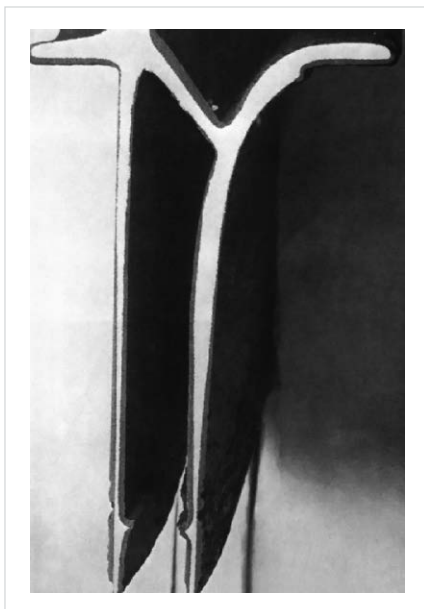


Рис. 1 — Закрытое чугунное рабочее колесо в разрезе



Рис. 2 — Коррозионное повреждение закрытого рабочего колеса: а) общий вид рабочего колеса; б) задний диск разрезанного рабочего колеса

Для решения поставленной задачи, основываясь на теории гидродинамических процессов, протекающих в рабочих колесах, рассмотрим, каким образом происходит течение жидкости в рабочем колесе. Выделим первый участок — непосредственно вход и выход в рабочем колесе.

Поток жидкости заходит в рабочее колесо при скорости c_2 и радиусе r_2 , а выходит при радиусе и скорости (рис. 3).

Течение жидкости в рабочем колесе представляет собой сложное движение, составляющие которого лучше всего рассматривать с помощью треугольника скоростей (рис. 3). В треугольнике скоростей, следует различать абсолютную и относительную скорость при описании течения жидкости через лопатки вращающегося рабочего колеса. Абсолютная скорость потока c — скорость относительно корпуса насоса, которая равна геометрической сумме относительной и окружной скоростей. Относительная скорость потока w — скорость относительно рабочего колеса. Любая точка рабочего колеса описывает окружность относительно оси вала и имеет окружную скорость [6]:

$$u = (\rho \cdot D \cdot n) / 60 \text{ [м/сек]} \quad (1)$$

где D — диаметр колеса в рассматриваемой точке, [м].

Окружные составляющие относительной и абсолютной скоростей отмечены индексом u . Скорости c_{m1} на входе и c_{m2} на выходе имеют радиальное направление. Эти составляющие скорости называются меридиональными и имеют индекс m . β_1 и β_2 — углы перед входом и после выхода из лопатки рабочего колеса. Следует подчеркнуть, что все скорости считаются средними для выделенного сечения, нормального к общему направлению потока и рассматриваются только для установившегося режима течения [7].

Для установившегося режима течения структура потока определяется не только формой и размерами каждого элемента проточной части в отдельности, но и их сочетанием. Наименьшее взаимное влияние элементов проточной части следует ожидать на расчетном режиме. На других же режимах, очевидно, будет иметь место неустановившееся движение и соответствующие ему гидравлические потери.

Чтобы понять, как отклонение от расчетного режима приводит к уменьшению напора, следует рассмотреть, из чего складывается величина теоретического напора.

Выражение теоретического напора определяется как [6]:

$$H_t = (u_2 \cdot c_{u2} - u_1 \cdot c_{u1}) / g \quad (2)$$

При выведении уравнения (2) пренебрегают всеми гидравлическими потерями, и величина H_t является теоретическим напором и известно как уравнение Эйлера. Если жидкость входит в колесо без окружной составляющей, т.е. если $c_{u1} = 0$, то уравнение Эйлера получает вид:

$$H_t = (u_2 \cdot c_{u2}) / g \quad (3)$$

Следует заметить, что напор, создаваемый насосом, ниже теоретического, поскольку в действительности существуют гидравлические потери, которые существенно снижают величину теоретического напора.

Теоретический напор возрастает с увеличением c_{u2} и u_2 в соответствии с выражением (3). На режимах, отличающихся от номинальных, возможно снижение c_{u2} , что приводит к уменьшению H . Одной из причин снижения c_{u2} может послужить увеличение меридиональной скорости c_{m2} . Если меридиональная скорость c_{m2} увеличилась, при этом значение угла β_2 осталось неизменным, то согласно рис. 3 вектор c_{m2} должен переместиться левее относительно своего начального положения. Тем самым это приведет к уменьшению окружной скорости c_{u2} и напора (2).

Для выяснения причин возможного увеличения меридиональной скорости c_{m2} , рассмотрим, из чего складывается величина этой скорости. Меридиональная скорость c_m определяется из соотношения [6]:

$$c_m = Q / (2 \cdot \pi \cdot r \cdot b) \quad (4)$$

где Q — подача насоса, [м³/с];

r — радиус колеса в рассматриваемой точке, [м];

b — ширина канала между двумя соседними лопатками рабочего колеса в рассматриваемой точке, [м].

Очевидно, что чем меньше ширина канала b между лопатками рабочего колеса, при неизменной подаче, тем большее значение принимает меридиональная скорость (4). Одной из причин уменьшения ширины канала b может послужить отложение продуктов коррозии в канале между лопатками рабочего колеса насоса (рис. 4).

Сужение ширины канала b на входе и на выходе из канала увеличивает меридиональную скорость c_{m2} (4), что в свою очередь приводит к уменьшению напора (3). Таким образом, зависимость (4) для первого участка, входа и выхода в рабочем колесе, выражает собой связь между уменьшением ширины

канала b , вызванным отложениями продуктов коррозии, и снижением величины напора.

Уменьшение ширины канала b не только снижает напор, увеличивая при этом меридиональную скорость c_{m2} , но и также влияет на изменение скоростей на входе перед рабочим колесом. Рассмотрим второй участок — вход перед рабочим колесом.

Непосредственно перед рабочей лопаткой жидкость имеет скорость c_0 (индекс 0 указывает на скорость перед входом в рабочее колесо), которая меньше абсолютной скорости c_1 после входа в рабочее колесо по причине сужения вследствие конечной толщины лопаток. Скорости c_0 и c_1 увеличиваются из-за уменьшения меридиональных скоростей c_{m0} и c_{m1} согласно с рассуждениями приведенными выше. При увеличении скорости c_1 уменьшится напор, что следует из формулы (2).

Меридиональная скорость на входе перед рабочим колесом определяется по формуле [8]:

$$c_{m1} = (c_{m0} \cdot t_1) / (t_1 - \sigma_1) \quad (5)$$

где c_{m0} — меридиональная скорость перед входом в колесо, [м²/с];

t_1 — длина дуги окружности входа между двумя соседними лопатками (рис. 5), [м];

σ_1 — толщина лопатки, замеренная в направлении окружности входа (рис. 5), [м].

В соответствии с выражением (5) обрастание канала по причине отложения продуктов коррозии между двумя соседними лопатками рабочего колеса (рис. 3) одновременно уменьшает длину дуги и увеличивает толщину лопатки рис. 5. Если допустить, что длина дуги уменьшилась, при этом толщина лопатки практически не изменилась (рис. 3), то увеличится при неизменном значении c_{m0} . Неравномерность отложения продуктов коррозии в канале могло произойти по причине длительного простоя насоса, выведенного из

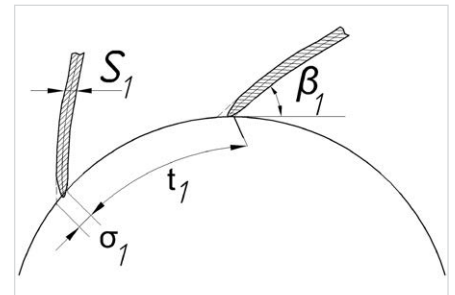


Рис. 5 — Входная кромка лопатки

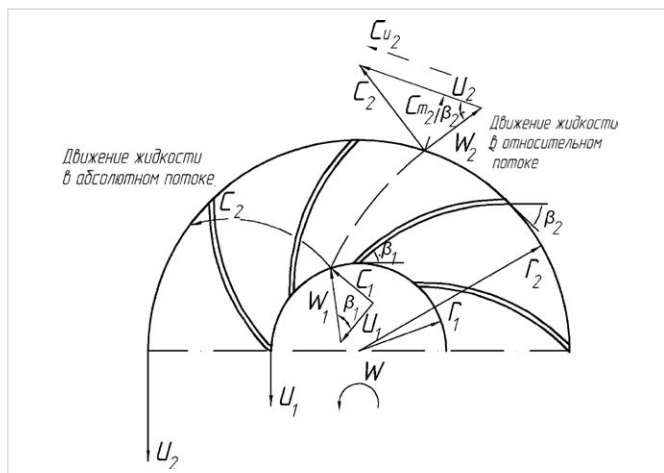


Рис. 3 — Течение жидкости в рабочем колесе



Рис. 4 — Лопатки закрытого рабочего колеса центробежного насоса в разрезе

эксплуатации по причине ремонтных работ.

Как указывалось выше центробежный насос, из которого было извлечено рабочее колесо, рассматриваемое в данной работе в качестве объекта исследования, останавливался несколько раз для проведения ремонтных работ трубопровода. Рабочее колесо насоса, выведенного из эксплуатации на время ремонтных работ, находилось в одном положении, погруженное в воду. Длительный простой рабочего колеса, погруженного в рабочую жидкость, характеризуется неравномерностью коррозионного повреждения одних лопаток рабочего колеса по сравнению с другими (рис. 2, 4).

Неравномерность коррозионного повреждения проявилась в виде значительного обрастания канала b продуктами коррозии. Полное обрастание канала b продуктами коррозии может привести к тому, что канал будет полностью выведен из процесса перекачивания жидкости.

Обрастание канала b продуктами коррозии приводит к уменьшению меридиональной скорости c_{m1} на участке перед входом в рабочее колесо. Чем больше отложений продуктов коррозии по ширине канала b , при практически неизменной толщине лопатки σ_1 и меридиональной скорости c_{m1} , тем значительнее уменьшится меридиональная скорость c_{m1} . Если меридиональная скорость c_{m1} значительно уменьшится, то увеличится скорость c_1 . Увеличение скорости c_1 уменьшит напор, так как появится вычитаваемый член уравнения $(u_1 \cdot c_{u1})/g$ (2), который не будет равен нулю.

Зависимость (5), найденная для второго участка (вход перед рабочим колесом), выражает собой связь между уменьшением ширины канала b , вызванным отложениями продуктов коррозии, и снижением величины напора.

Таким образом, для двух участков рабочего колеса была установлена зависимость между коррозионным повреждением рабочего колеса и снижением напора, которая указывает на то, что обрастание ширины канала рабочего колеса, вызванное коррозионным повреждением, является основной причиной снижения напора.

При снижении напора, по причине коррозионного процесса, также возможно и снижение подачи [5]. Подача (Q) — параметр, характеризующий необходимый объем перекачиваемой воды для проведения промывочных работ. На ППС подача насосов, перекачивающих горячую воду, составляет 30–40 м³/ч. Параметр, характеризующий качественную технологию промывки железнодорожных цистерн от остатков перевозимых грузов, — напор (H). Для проведения качественных промывочных работ, насос должен создавать напор не менее 40 м [8].

Между рабочими параметрами насоса

— подачей и напором — существует графическая зависимость, известная как характеристика насоса $Q — H$. Характеристика насоса, который обеспечивает заданные рабочие параметры для проведения промывочных работ в установленные сроки, представлена на рис. 6 сплошной линией. В точке А обеспечивают требуемые параметры, необходимые для проведения промывочных работ в установленные сроки: напор 42 м, подача 30 м³/ч.

Изменение характеристики центробежного насоса по причине коррозии рабочего колеса может быть представлено графически в виде пунктирной линии (рис. 6). В точке Б рабочие параметры снизились: напор 38 м, подача — 28 м³/ч. В случае, если рабочее колесо значительно повреждено из-за воздействия коррозии, насос сможет обеспечить напор 38–38,5 м при подаче 22 м³/ч (точка В). Таким образом, разница подач и напоров между точками А и В показывает, что коррозионное повреждение рабочего колеса влияет на снижение подачи и напора, что в свою очередь может привести к перебою в подаче цистерн на ППС.

Предположим, что в сортировочном парке были отобраны цистерны для проведения промывочно-пропарочных работ. В соответствии с таб. 1 необходимо провести следующие виды работ [9].

Если предположить, что промывка осуществляется только одним насосом при номинальной подаче $Q = 30$ м³/ч, то промывка семи цистерн займет не более 280 мин, полная очистка цистерн с учетом промывки и пропарки — 900 мин (рис. 6). Если подача горячей воды снижается по причине коррозионного повреждения чугунного рабочего колеса насоса до $Q = 22$ м³/ч, то в этом случае промывка одной цистерны увеличивается на 20 мин, а полная обработка всей группы цистерн займет 1040 мин (рис. 6) [9].

С учетом того, что подача цистерн для очистки производится в соответствии с суточным (сменным) планом [10], рассчитанным на круглосуточную работу ППС, увеличение времени технологического процесса приведет к срыву установленного срока выполнения промывочно-пропарочных работ. Цистерны предварительно подаются на пути накопления, расположенные вблизи станции, а затем направляются на пути очистки [11]. Увеличение времени, отведенного для процесса промывки, уменьшит не только количество цистерн, которые могут быть обработаны в течение суток, но и тех, которые могут быть поданы на пути накопления.

Итоги

С помощью известных зависимостей, основанных на теории гидродинамических процессов, протекающих в рабочих колесах, была установлена связь между

коррозионным повреждением чугунного рабочего колеса и снижением напора, создаваемым насосом. Было установлено, что основной причиной снижения напора является обрастание канала продуктами коррозии между двумя соседними лопатками рабочего колеса.

Выводы

1. Сужение канала между лопатками чугунного рабочего колеса центробежного насоса по причине коррозии может увеличить продолжительность времени промывочных работ на ППС на 15% процентов, при этом подача насоса может снизиться на треть.
2. При отсутствии коррозионного повреждения поверхностей чугунного рабочего колеса центробежного насоса, перекачивающего горячую воду, риск увеличения времени, необходимого для проведения промывочно-пропарочных работ, незначителен, однако при его возникновении увеличивается время, отведенное для промывки железнодорожных цистерн, что приведет к срыву установленного срока выполнения промывочно-пропарочных работ на ППС.

Список литературы

1. Карелин В.Я. Изнашивание лопастных насосов. М.: Машиностроение, 1983. 166 с.
2. Winston R. R. Uhlig's Corrosion Handbook, 3rd ed. New Jersey: A John Wiley & Sons, Inc. 2011. 1253 p.
3. E. McCafferty. Introduction to Corrosion Science. New York: Springer, 2010. 583 p.
4. Naumann F. K., Spies F. Corroded pump impeller// Case Histories in Failure Analysis. 1979. Vol. 1. № 1. pp. 367-370.
5. Vandagriff L. R. Practical guide to industrial boiler systems. New-York: Marcel Dekker, Inc. 2001. 362 p.
6. Степанов А.И. Центробежные и осевые насосы. М.: Машгиз, 1983. 464 с.
7. Пфлейдерер К. Лопаточные машины для жидкостей и газов. М.: Машгиз, 1960, 684 с.
8. Григорьев А.Н., Асламазов Г.М., Кузьмин С.П. Железнодорожные цистерны. М.: Трансжелдориздат, 1959, 212 с.
9. Приходько В.М., Шеина А.Е. К вопросу о причинах снижения эффективности работы ППС// Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2015. № 1. С. 31–36.
10. Г-14540. Типовой технологический процесс работы железнодорожных станций по наливу и сливу нефтегрузов и промывочно-пропарочных предприятий по очистке и подготовке цистерн под перевозку грузов. 1982.
11. Попова Е.Н. Не пропарись – не поедешь // Транспорт. 2010. № 7. С. 12–14.

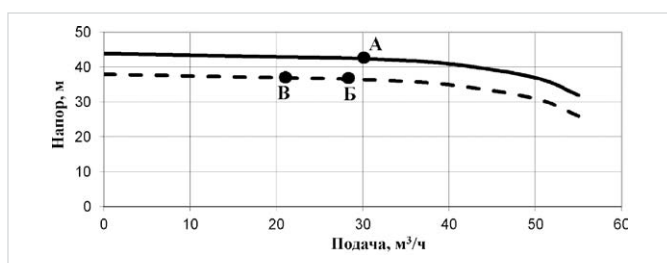


Рис. 6 — Характеристика насоса

Вид работы	Требуемое время	Количество цистерн
Пропарка и промывка из-под продуктов средней вязкости	120 мин (из них 40 мин промывка)	6
Пропарка и промывка из-под продуктов высокой вязкости	180 мин (из них 40 мин промывка)	1

Таб. 1

How does a corroded pump influence at a railcar tank cleaning

Authors:

Vyacheclav M. Prikhodko — Sc. D., professor¹, corresponding member²

Anna E. Sheina — postgraduate¹; sheina2016@inbox.ru

¹Moscow State Automobile & Road Technical State University, Moscow, Russian Federation

²The Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Abstract

Cast iron pumps are widely used in a department of railcar tank cleaning to pump hot water which is necessary in the cleaning process. As a result cast iron impeller shows considerable corrosion after operating due to the high temperature of the pumping water.

Materials and methods

Analysis of a substantial wearing of the cast iron impeller.

Results

Mathematical analysis have shown that substantial wear of the cast iron impeller causes head decreasing, moreover, it takes more time necessary for the railcar tank cleaning process.

Conclusions

1. The analysis showed that corroded passes between adjacent vanes of the cast pump impeller is the main cause of increasing the

railcar tank cleaning process to 15 percent.
2. The chance of the time increasing which is necessary for the railcar tank cleaning process is negligible in the absence of the corrosion process, but a corroded cast iron impeller could increase the time necessary for oil cargo transporting.

Keywords

corrosion, flow decrease, head decrease, railcar tank cleaning

References

- Karelin V.Ya. *Iznashivanie lopastnykh nasosov* [Wearing process of vane pumps]. Moscow: *Mashinostroenie*, 1983, 166 p.
- Winston R. R. Uhlig's Corrosion Handbook, 3rd ed. New Jersey: A John Wiley & Sons, Inc. 2011. 1253 p.
- E. McCafferty. Introduction to Corrosion Science. New York: Springer. 2010. 583 p.
- Naumann F. K., Spies F. Corroded pump impeller // Case Histories in Failure Analysis. 1979, Vol. 1. Issue 1, pp. 367–370.
- Vandagriff L. R. Practical guide to industrial boiler systems. New-York: Marcel Dekker, Inc. 2001, 362 p.
- Stepanov A.I. *Tsentrobeznyye i oseyye nasosy* [Centrifugal and axial pumps]. Moscow: *Mashgiz*, 1983, 464 p.
- Pfleyderer K. *Lopatochnyye mashiny dlya zhidkostey i gazov* [Impeller machines for liquids and gases]. Moscow: *Mashgiz*, 1960, 684 p.
- Grigor'ev A.N., Aslamazov G.M., Kuz'min S.P. *Zheleznodorozhnyye tsisterny* [Rail tank cars]. Moscow: *Transzheldorizdat*, 1959, 212 p.
- Prikhod'ko V.M., Sheina A.E. *K voprosu o prichinakh snizheniya effektivnosti raboty PPS* [Why do efficiency of railcar tank cleaning could decrease]. *Transport i khraneniye nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya*. 2015, issue 1, pp. 31–36.
- Guidance Document G-14540. *Tipovoy tekhnologicheskiy protsess raboty zheleznodorozhnykh stantsiy po nalivu i slivu neftegruzov i promyvochno-proparochnykh predpriyatiy po ochildke i podgotovke tsistern pod perevozku gruzov* [Typical process of work railway stations of loading and unloading of oil cargo and railcar wash facility on cleaning and preparing the tanks for the carriage of goods]. 1982.
- Popova E.N. *Ne proparish' – ne poedesh'* [No steaming, no movement]. *Transport*. 2010, issue 7. pp. 12–14.



тел.: (3412) 567-719, 44-51-50 • udmpk.ru, udmpk.pф

**ВНУТРЕННЯЯ ИЗОЛЯЦИЯ
СТАЛЬНЫХ
ТРУБОПРОВОДОВ
И НКТ**

426039, г. Ижевск, Воткинское шоссе, д. 170