

УДК 621.300.2

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЧАСТОТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОГРУЖНЫХ НАСОСОВ АРТЕЗИАНСКИХ СКВАЖИН

В.Н. Крысанов

Доцент кафедры автоматики и информатики в технических системах
Воронежского государственного технического университета,
кандидат технических наук, e-mail: sovteh2000@mail.ru

С.В. Астафьев

Магистр кафедры автоматики и информатики в технических системах
Воронежского государственного технического университета,
e-mail: astafevsv@rambler.ru

Отражены специфические вопросы определения эффективности применения частотного регулирования погружных насосов артезианских скважин.

Ключевые слова: погружной насос, преобразователь частоты, энергетическая эффективность.

Наиболее распространенной системой водоснабжения малых населённых пунктов считается башенная система.

Однако при всей простоте и широком распространении башни Рожновского обладают рядом недостатков:

- трудности использования в зимний период, особенно возрастающие при уменьшении водопотребления;
- интенсивное появление ржавчины в воде из-за большой поверхности окисления накопительной емкости;
- ограниченное и непостоянное давление воды на выходе из башни, определяющееся высотой башни;
- высокая стоимость и трудоемкость работ по ремонту башни.

Необходимо отметить, что при организации водоснабжения с использованием подземных вод, технологические режимы эксплуатации водозаборных скважин включают в себя специфику пусковых режимов погружных насосов. Так для насосов ЭЦВ количество прямых пусков ограничено заводом изготовителем до трех пусков-остановок в час [1], что зачастую недостаточно в летний период, интенсивного водопользования (при ограниченном объеме башни).

Пуск погружных насосов является одним из наиболее тяжелых режимов для их электродвигателей, водоподъемных труб и водозахватной части скважины и, условно, является двухэтапным (рис. 1):

- в течение первого этапа ($t_1 = 0,9-0,5$ сек.) возникают высокие значения скоростей притока

воды в скважину со стороны водоносного пласта в верхней части фильтра. Также происходит резкое изменение давления, нарушающее устойчивость прифилтровой зоны (происходит вынос песка);

- второй этап ($t_2 = 1-5$ сек.) при определенных условиях сопровождается гидравлическим ударом в напорном трубопроводе.

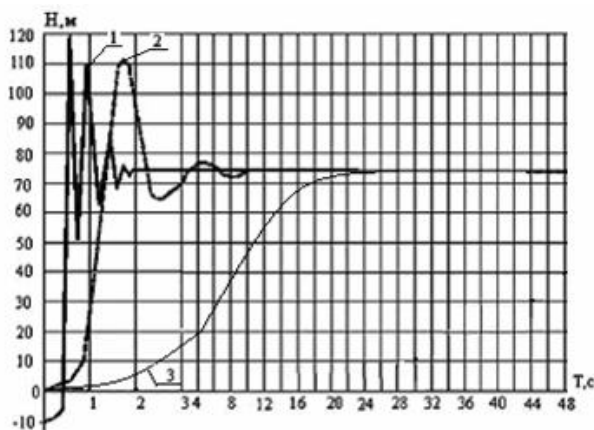


Рис. 1. Графики изменения давления во время пуска погружного насоса: 1, 2 – эпюры изменения давления без регулирования переходных режимов соответственно с содержанием воздуха в гидросистеме и без него; 3 – с применением частотного регулирования погружного насоса

Еще более неблагоприятны для электродвигателей пусковые режимы, продолжительность которых превышает 8 – 10 с.

Обмотки электродвигателей помимо мощного электродинамического воздействия подвергаются интенсивному нагреву пусковыми токами. При этом выделяющееся тепло, вызванное резким повышением температуры обмотки, не успевает рассеяться в металле статора или ротора, что приводит к снижению уровня изоляции и авариям.

Как правило, для глубинных насосов используются следующие способы снижения пусковых токов: переключение обмоток «звезда-треугольник»; включение электродвигателя посредством пускового трансформатора, устройства плавного пуска, преобразователя частоты. При выборе способа снижения пусковых токов следует учитывать специфику объекта водоснабжения, технические требования, а также действующие нормы и правила эксплуатации электросетей, стоимость оборудования и эксплуатации.

Сейчас активно внедряется способ частотного регулирования погружными насосами (ЧРПН). Пуск погружного насоса посредством преобразователя частоты представляет собой идеальный вариант с точки зрения уменьшения пускового тока, а также импульса давления и последующего регулирования скорости двигателя (рис. 2).

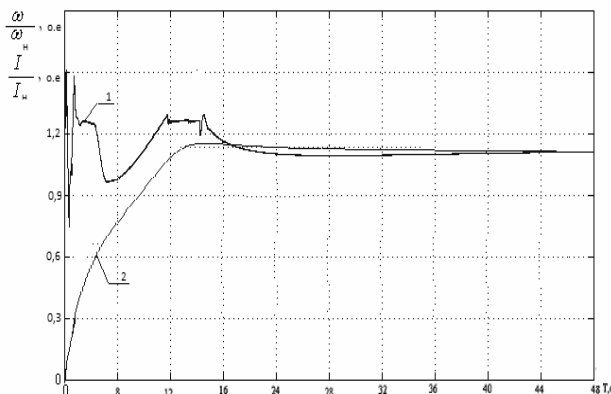


Рис. 2. Эпюры пуска ЧРПН:

- 1 – изменение фазного тока статора I_n , о.е.;
- 2 – изменение угловой скорости вращения ротора ω_n , о.е.

Преимущество этого метода в том, что пусковой ток все время удерживают на уровне номинального тока электродвигателя. Это означает, что число требуемых в течение часа включений и отключений может быть установлено любым.

Кроме этого преобразователь частоты осуществляет комплексную защиту двигателя и насоса и выполняет целый ряд сервисных функций: автоматическая остановка насоса при отсутствии расхода (спящий режим); автоматическое обнаружение порывов водопровода; автоматический переход в ночной режим (пониженное давление) или в режим выходных или праздничных дней и т. д., и т. п.

Ниже будет рассмотрен вопрос эффективности применения ЧРПН для типового сельского поселения (с. п. Хохол Воронежской области). Суточный график водопотребления (усредненный по году) данного населенного пункта представлен на рис. 3.

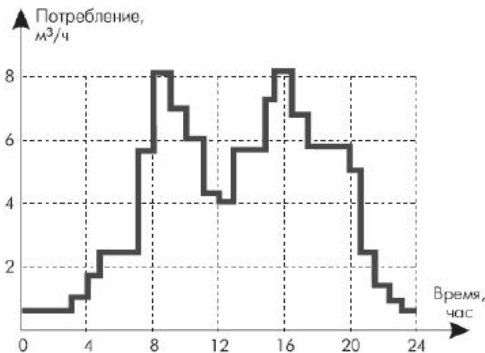


Рис. 3. Суточный график водопотребления

Основные характеристики скважины: глубина $h = 90$ м; дебит $q_c = 8$ м³/ч; статический уровень 30 м; Объем башни $W_{per} = 5,25$ м³; тип насоса ЭЦВ 6-16-140; $P_n = 11$ кВт.

Для предотвращения работы насоса в сухую, при малом дебите, он опущен на глубину 85 м.

Рассчитаем энергопотребления типовой насосной станции при работе на башню.

Если q_n – часовая производительность насоса, м³/ч, а q_p – часовой расход воды потребителями, м³/ч, W_{per} – регулируемый объем башни, N_n – номинальная мощность двигателя то время работы t_p и потребляемая мощность P_n будут равны:

$$t_p = W_{per} / (q_n - q_p), \text{ ч}$$

$$N_{рб} = N_n / t_{per}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

Потребление электроэнергии, с учётом суточного графика водопотребления, сведены в табл. 1.

В случае применение ЧРПН имеется техническая возможность установить насос меньшей мощности (типа ЭЦВ 6-10-80; $P_n = 4$ кВт). Для предотвращения работы насоса в сухую он опущен на глубину 40 м.

Потребляемая электроэнергия $N_{ЧРПН}$ в случае ЧРПН зависит от времени его работы τ , расхода q_v , выраженного вероятностными характеристиками или задаваемого статистическими данными, давления, имеющего постоянное значение, и КПД, зависящего от расхода:

$$N_{ЧРПН} = \tau \sum_{j=0}^n \frac{q_{v_j} H_{cm}}{\eta_{ЧРПН}(q_{v_j})_{H_{cm}}} [f_j(q_{v_j})], \quad (1)$$

где f – плотность распределения случайной величины расхода q_v через ЧРПН; j – индекс итерации под знаком суммы; $q_{v_{j+1}} - q_{v_j} = \delta q$ – шаг итерации; n – число шагов в интервале; $\eta_{ЧРПН}(q_{vi})$ – КПД ЧРПН в режиме стабилизации давления.

Таблица 1

Потребление электроэнергии насосной станцией за сутки

| № | q _n | t _q | Траб, ч | №рб, кВт |
|-------------------------------------|----------------|----------------|----------|----------|
| 1 | 0,5 | 3 | 0,33871 | 3,725806 |
| 2 | 1 | 1 | 0,35 | 3,85 |
| 3 | 1,5 | 1 | 0,362069 | 3,982759 |
| 4 | 3 | 2 | 0,403846 | 4,442308 |
| 5 | 5,5 | 1 | 0,5 | 5,5 |
| 6 | 8 | 1 | 0,65625 | 7,21875 |
| 7 | 7 | 0,5 | 0,583333 | 6,416667 |
| 8 | 6 | 0,5 | 0,525 | 5,775 |
| 9 | 4,5 | 1 | 0,456522 | 5,021739 |
| 10 | 4 | 1 | 0,4375 | 4,8125 |
| 11 | 5,5 | 2 | 0,5 | 5,5 |
| 12 | 7,5 | 1 | 0,617647 | 6,794118 |
| 13 | 8 | 1 | 0,65625 | 7,21875 |
| 14 | 6,5 | 1 | 0,552632 | 6,078947 |
| 15 | 5,5 | 2 | 0,5 | 5,5 |
| 16 | 5 | 1 | 0,477273 | 5,25 |
| 17 | 3 | 1 | 0,403846 | 4,442308 |
| 18 | 1,25 | 1 | 0,355932 | 3,915254 |
| 19 | 1 | 1 | 0,35 | 3,85 |
| 20 | 0,5 | 1 | 0,33871 | 3,725806 |
| Потребление электроэнергии за сутки | | | | 103,0207 |

Для центробежных электронасосов зависимость КПД, η от расхода, q в графическом виде приводится в каталогах. Однако для использования зависимости в расчетах в компьютерных программах необходимо знать аналитическое выражение этой зависимости, где учет характеристик и параметров элементов систем в целом, а также характеристик внешних воздействий является необходимым условием при составлении управляющих программ, обеспечивающих минимум расчетных затрат на обеспечение водой. КПД электронасоса $\eta_{эн}$ определяется произведением КПД насоса и КПД двигателя в соответствии [2]:

$$\eta_{эн} = \frac{q\eta_m}{q_m} \left[2 - \left(q_m \sqrt{\frac{H_{cm}/q^2 + S + Z}{H_{он}}} \right)^{-1} \right], \quad (2)$$

$$1,01 \sqrt{\frac{H_{cm} + (S + Z)q^2}{H_{он}}} + \eta_{дн}^{-1} - 1,01$$

где η_m – максимальное значение КПД насоса; S – скольжение.

Воспользовавшись формулами (1), (2), определим расход электроэнергии с учётом суточного графика водопотребления выбранного объекта. Результаты вычислений сведём в табл. 2.

Гистограмма потребляемой электроэнергии для насоса, работающего на башню Рожновского

(№рб) и частотно регулируемого привода (№чрпн) (рис. 4).

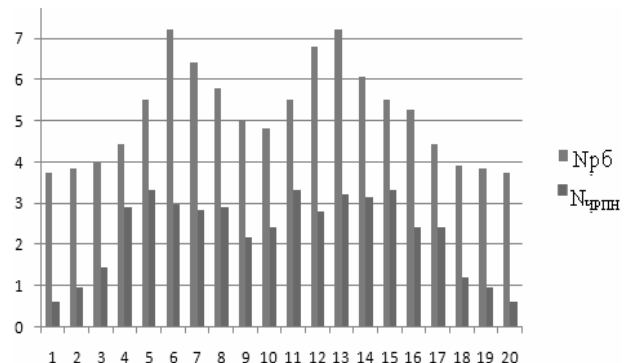


Рис. 4. Гистограмма потребляемой электроэнергии

Очевидно, что при частотном регулировании скорости потребляемая мощность в режиме неполной подачи значительно меньше. Для объекта водопотребления, рассмотренного в данной статье, при работе насоса на башню потребляется 103,02 кВт в сутки, а в случае ЧРПН для той же подачи требуется всего 46,04 кВт, что на 45 % меньше.

Затраты на электроэнергию Z за один год составят:

$$Z = c \cdot N \cdot 365,$$

где c – средняя цена на электроэнергию; N – потребление электроэнергии за сутки.

Таблица 2

Потребление электроэнергии насосной станцией за сутки с ЧРПН

| № | qp | fрег. | КПД | N _{чрпн.} |
|-------------------------------------|------|-------|------|--------------------|
| 1 | 0,5 | 2,5 | 0,2 | 0,60551 |
| 2 | 1 | 5 | 0,25 | 0,968816 |
| 3 | 1,5 | 7,5 | 0,25 | 1,453224 |
| 4 | 3 | 15 | 0,25 | 2,906449 |
| 5 | 5,5 | 27,5 | 0,4 | 3,330306 |
| 6 | 8 | 40 | 0,65 | 2,980973 |
| 7 | 7 | 35 | 0,6 | 2,825714 |
| 8 | 6 | 30 | 0,5 | 2,906449 |
| 9 | 4,5 | 22,5 | 0,5 | 2,179837 |
| 10 | 4 | 20 | 0,4 | 2,422041 |
| 11 | 5,5 | 27,5 | 0,4 | 3,330306 |
| 12 | 7,5 | 37,5 | 0,65 | 2,794662 |
| 13 | 8 | 40 | 0,6 | 3,229387 |
| 14 | 6,5 | 32,5 | 0,5 | 3,148653 |
| 15 | 5,5 | 27,5 | 0,4 | 3,330306 |
| 16 | 5 | 25 | 0,5 | 2,422041 |
| 17 | 3 | 15 | 0,3 | 2,422041 |
| 18 | 1,25 | 6,25 | 0,25 | 1,21102 |
| 19 | 1 | 5 | 0,25 | 0,968816 |
| 20 | 0,5 | 2,5 | 0,2 | 0,60551 |
| Потребление электроэнергии за сутки | | | | 46,04206 |

Для сравниваемых вариантов с учётом того, что средняя цена на электроэнергию $C = 2$ руб. за кВт/ч, получим:

1) работа насоса на башню Рожновского:

$$Z = 103,02 \times 365 \times 2 = 75,205 \text{ тыс. руб.}$$

2) работа насоса с ЧРПН:

$$Z = 46,04 \times 365 \times 2 = 33,610 \text{ тыс. руб.}$$

т.е. экономия составит:

$$75,205 - 33,610 = 41,594 \text{ тыс. рублей в год.}$$

Хотелось бы отметить и другие существенные факторы экономии при переходе на ЧРПН.

1. Расходы на начальную организацию водоснабжения.

На основании котировочных заявок и сводных сметных расчетов можно сопоставить затраты на организацию водоснабжения без учета бурения скважины, насосного оборудования и трубопровода до входа в сеть. Используем усредненные расценки.

2. Эксплуатационные расходы.

При традиционной системе эксплуатации водонапорной башни требуется для ежегодного (планового) ремонта 32 тыс. руб. и для капитального – 216 тыс. руб. [3]. Такие затраты сопоставимы с полным ее демонтажем и заменой на станцию с ЧРПН.

3. Экономия от замены насоса на менее мощный.

Применение ЧРПН для рассматриваемой низкодебитовой скважины позволяет снизить

затраты на сами насосы с 45 тыс. руб. до 19 тыс. руб. и увеличить средний срок службы ПН с одного года до трех лет. Что позволяет дополнительно экономить порядка 50 тыс. руб. в год.

4. Использование ЧРПН позволяет свести к минимуму возможность повреждения трубопроводов гидравлическим ударом, защищает электрическую сеть от пиковых нагрузок, снизить эксплуатационные затраты от утечек воды. Но конкретной экономии привести по этому фактору в данной статье не представляется возможным из за отсутствия статистических данных по объекту.

Выводы

Эффективность применения частотного регулирования скорости вращения насосных агрегатов значительно возрастает в случае применения его для погружных насосов артезианский скважин.

Наибольшая эффективность данной системы водоснабжения (ЧРПН работающего непосредственно на сеть водоснабжения) достигается еще на этапе проектирования. В случае сравнения данной системы с системой, включающей башню Рожновского, предпочтение необходимо отдавать системе с ЧРПН. При этом экономический эффект для варианта насоса мощностью 8 кВт составляет ориентировочно 1515 тыс. руб.

Таблица 3

Сравнительное сопоставление затрат.

| № пп | Организация подачи воды с использованием башни Рожновского | | | Организация подачи воды при ЧРПН | | |
|------|---|-------------------------------|-------------|---|-------------------------------|-------------|
| | Необходимые работы | Планируемые затраты тыс. руб. | Сроки, день | Необходимые работы | Планируемые затраты тыс. руб. | Сроки, день |
| 1 | Водонапорная башня-колонна V=50 м ³ , высота ствола 23,6 м | 330 * | 14 | Отсутствует | 0 | 0 |
| 2 | Монтаж ВДР высотой до 25 м, в том числе монтаж лестниц и ограждения | 276 | 3 | Отсутствует | 0 | 0 |
| 3 | Ограждение, помещение для управления | 459 | 5 | Блок-контейнер | 260 | 5 |
| 4 | Землеустроительные работы | 579 | 4 | В работах нет необходимости | 0 | 0 |
| 5 | Оборудование для управления автоматикой подачи воды | 30 | 2 | Оборудование для организации работы частотно-регулируемой станции | 51 | 2 |
| 6 | Аварийная емкость для воды не нужна | 0 | 0 | Гидропневмобак, 400 л | 46 | 2 |
| 7 | Накладные расходы | 251 | 0 | | | 0 |
| | Итого | 1925 | 28 | Итого | 410 | 9 |

В случае, когда ставится вопрос модернизации системы башенного водоснабжения, предпочтение необходимо отдать системе ЧРПН. Для рассмотренного в данной статье ПН мощностью 8 кВт, срок окупаемости системы с ЧРПН, только по фактору экономии электрической энергии (снижение на 45 %) составит менее одного года. В случае планируемого капитального ремонта, целесообразно перейти от системы

башенного водоснабжения к системе ЧРПН.

Особенно целесообразен такой переход для эксплуатации малобитовых скважен. В этом случае возможна еще и замена самого насоса на менее мощный. Это дает снижение как капитальных затрат, так и эксплуатационных (ориентировочно на 57 % и на 23 %). Величина экономии напрямую зависит от разницы между статическим и динамическим уровнями артезианской скважины.

Литература

1. Непомнящий, М. А. Погружные электродвигатели для скважинных насосов / М. А. Непомнящий // Штиинца. – 1982. – С.158.
2. Авраменко, М. В. Электропотребление частотно-регулируемых насосных агрегатов в системах сельскохозяйственного водоснабжения / М. В. Авраменко, А. П. Гришин // Научно-технический бюллетень по электрификации сельского хозяйства. – 1987. – С. 3 – 8.
3. Гришин, А. П. Коэффициент полезного действия частотно-регулируемого электронасоса / А. П. Гришин // Научные труды. – 2002. – Т. 88. – С. 285 – 294.
4. Котировочная заявка по ремонту водонапорных башен в пгт. Хохол Воронежской области в рамках программы. Подготовка объектов ЖКХ к работе в осенне-зимний период 2010 – 2011 гг. по Хохольскому району. Управление топливно-энергетического комплекса и жилищно-коммунального хозяйства Воронежской области.

EFFICIENCY OF APPLICATION OF FREQUENCY REGULATION OF SUBMERSIBLE PUMPS OF ARTESIAN CHINKS

V.N. Krysanov, S.V. Astafev

In article specific questions of definition of efficiency of application of frequency regulation of submersible pumps of artesian chinks are reflected.

Key words: a submersible pump, the frequency converter, power efficiency.