

Производственно-технический
и научно-практический журнал



ВОДОЧИСТКА

ВОДОПОДГОТОВКА

ВОДОСНАБЖЕНИЕ



О ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН С ПОГРУЖНЫМИ ЦЕНТРОБЕЖНЫМИ НАСОСАМИ

Фисенко В.Н.
канд. техн. наук

Ru Well Systems® - частная научная инновационная компания, г. Смоленск

При приобретении оборудования и реконструкции скважинных водозаборов подземных вод с центробежными многоступенчатыми погружными электронасосами возникает необходимость многовариантного сопоставления (методика LCC) капитальных затрат и эксплуатационных издержек, приведенных к длительности «жизненного цикла» оборудования или сооружения. В статье рассмотрены рабочий, энергоэффективный и нормативный циклы жизни водозаборной скважины, показана взаимосвязь с энергоэффективным жизненным циклом насосного оборудования.

Ключевые слова: центробежный погружной насос; водозаборная скважина; длина рабочего жизненного цикла скважины; энергоэффективный цикл жизни скважины; нормативный жизненный цикл скважины; энергоэффективный жизненный цикл насоса.

Водозаборная скважина относится к сложным инженерным сооружениям и обладает способностью создавать в течение определенного промежутка времени поток материальных и связанных с ним финансовых ресурсов для инфраструктуры обеспечения жизнедеятельности человеческого сообщества. Практический интерес имеет оценка длительности указанного промежутка времени называемого «жизненным циклом скважины». Этот термин применяется в основном при многовариантном расчете капитальных затрат и эксплуатационных издержек при покупке (создании) и эксплуатации машин, механизмов, сооружений по методике LCC – (Life Cycle Cost, англ. – *стоимость жизненного цикла*). Существует некоторая неопределенность в выборе конкретной продолжительности жизненного цикла скважины как инженерного сооружения, т.к. это связано с изменением пропорционального соотношения капитальных вложений и издержек и может привести к неверным инвестиционным и управленческим решениям. Рассмотрим подробнее цикличность процессов, наблюдаемых от начала эксплуатации водозаборной скважины, до ликвидации и списания с баланса.

Цикл жизни скважины – рабочий

Практика эксплуатации водозаборов подземных вод показывает, что их первоначальная производительность может существенно снижаться во времени. Одной из основных

причин этого явления, как правило, является рост гидравлических сопротивлений в водоприемной части скважин вследствие протекания различных видов кольматации фильтра и прифилтровой зоны скважины [1]. Время стабильной работы скважины как сооружения, обеспечивающего производительность водозабора в целом, с обеспечением допустимого понижения уровня, определяется темпами снижения удельного дебита конкретной скважины и удельной производительности водозабора (системы скважин) в целом, водозабор при этом оценивается по способности обеспечивать поставку потребителю требуемого (проектного) количества воды.

Для наиболее типичных условий [2] эксплуатации водозаборов, оценка скорости снижения удельного дебита водозаборной скважины определяется зависимостью (при допущении, что коэффициент фильтрации изменяется во всей области пласта, где распространяется возмущение от скважины):

$$q_1(t) \cong q_0 e^{-t^{13} C_0^7}, \quad (1)$$

где $q_1(t)$ – удельный дебит скважины в момент времени t ;

q_0 – первоначальный удельный дебит при сдаче скважины в эксплуатацию (либо в конце периода стабильной работы – в момент начала снижения удельного дебита);

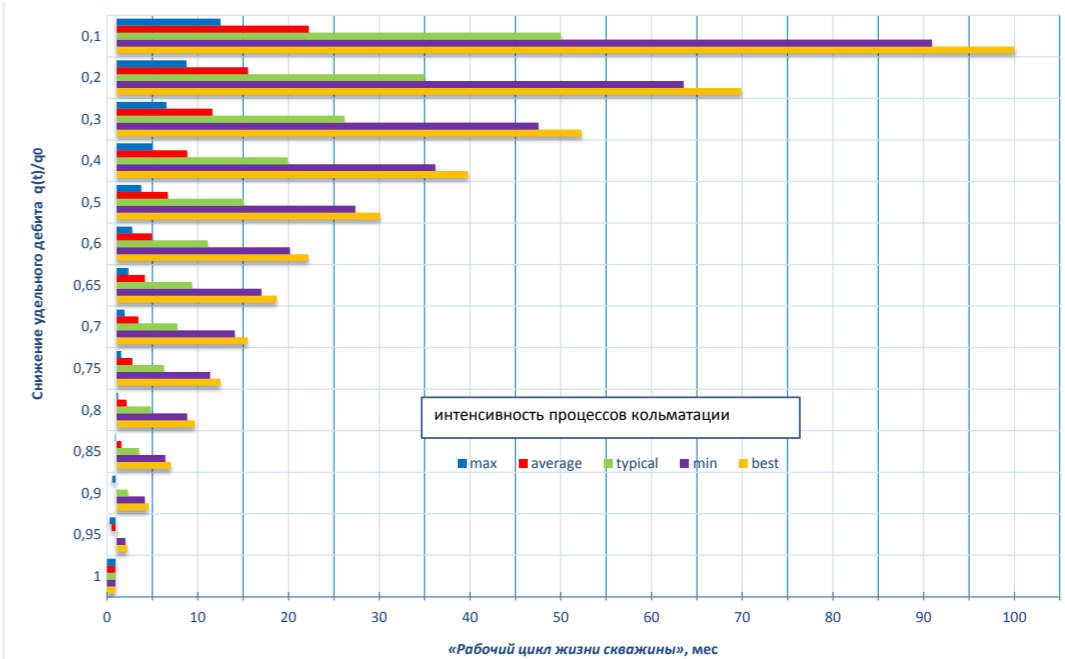


Рисунок 1
Влияние темпа снижения удельного дебита и интенсивности процессов кольматации на «рабочий цикл жизни скважины».

$C_0 \gamma$ – параметр, характеризующий интенсивность протекания кольматационных процессов.

Наиболее правильным для оператора услуг водоснабжения является при приемке вновь построенной скважины проводить опытные откачки для определения начального значения обобщенного сопротивления скважины и фильтрационных параметров водоносного пласта и вносить их в паспорт скважины – главный документ, в котором отражаются основные этапы функционирования скважины: от сдачи в эксплуатацию, до ликвидации, включая промежуточные ремонтно-профилактические мероприятия. Рекомендуется [2] на водозаборных скважинах в процессе эксплуатации также проводить опробование для оценки роста их сопротивления и снижения удельной производительности в результате кольматации и сопоставлять полученные текущие величины с первоначальными.

Следует отметить, что механическая кольматация вблизи скважины, вследствие миграции мелкодисперсных частиц из водоносного пласта, начинается с момента начала отбора воды из скважины, но при правильном подборе фильтра и состава гравийной обсыпки, и качественном выполнении работ при строительстве скважины проницаемость прифилтровой зоны скважины оказывается выше проницаемости пород водоносного пласта, что характеризуется началь-

ным отрицательным показателем обобщенного сопротивления – показатель скин-эффекта $\{-2; 5\}$ и, соответственно, влияет на увеличение длительности стабильной работы скважины – появляется так называемое «время запаздывания» [3]. При дальнейшей эксплуатации, после заполнения пор прифилтровой зоны кольматирующими отложениями, происходит выравнивание и уменьшение проницаемости и начинает наблюдаться снижение дебита по зависимости (1).

На рисунке 1 приведена диаграмма «рабочего цикла жизни скважины» для различных темпов снижения удельного дебита и при различной интенсивности протекания кольматационных процессов (**max** – максимальная, **average** – средняя, **typical** – типичная, **min** – минимальная, **best** – сверхнизкая).

В каждом конкретном случае длительность «рабочего цикла жизни скважины» – **Well LCLwork – The Length of the Well lifecycle (working)**, определяется условиями совместной эксплуатации скважин водозабора: при общем снижении производительности водозабора ниже проектного, либо необходимого потребителю значения, оператор услуг водоснабжения принимает решение о назначении ремонтных или восстановительных мероприятий на скважинах с наибольшим темпом (рис. 1) снижения удельного дебита, чтобы продлить их эффективное

использование, либо выводит такие скважины из эксплуатации с последующим списанием. Таким образом «рабочий цикл жизни скважины» – это продолжительность периода стабильного использования скважины по своему назначению, до момента принятия решения: либо о ликвидации, либо о восстановлении производительности скважины, или назначении ремонтных мероприятий.

Цикл жизни скважины – энергоэффективный

Длительность периода называемого «энергоэффективным циклом жизни скважины» определяется двумя факторами: интенсивностью роста гидравлических сопротивлений в водоприемной части скважины и показателями качества и технического уровня применяемого погружного центробежного насоса.

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta Q = Q_0 - Q_1; \Delta H = H_1 - H_0; \\ Q_0 = Q_{\text{ВЕР}}; \quad Q_1 = n Q_{\text{ВЕР}}; \\ 1 > n \geq 0,7 \\ \text{tg}\beta = \frac{\Delta H}{(1-n)Q_0} \end{array} \right. \quad (2)$$

Критерием, определяющим длительность минимального жизненного цикла погружного насоса в скважине, является показатель крутизны напорно-расходной характеристики насоса [4] на энергоэффективном ($n=0,75$) либо допускаемом производителем (для большинства артезианских насосов $n=0,70$) интервале напорно-расходной характеристики насоса:

При работе насоса в точке $Q_0=Q_{\text{ВЕР}}$ с напором $H_0=f(Q_0)$ погружной насос создает в скважине понижение уровня S_1 ; далее в процессе эксплуатации, вследствие роста гидравлических сопротивлений в скважине, рабочая точка достигает $Q_1=nQ_0$ с напором $H_1=f(Q_1)$ при этом погружной насос создает в скважине уже понижение уровня S_2 . Разность подач насоса $\Delta Q=Q_0-Q_1$, потеря напора $\Delta H=H_1-H_0$. Запас напора на энергоэффективном, или допускаемом производителем диапазоне напорно-расходной характеристики насоса вычисляется как $\text{tg}\beta$ по формуле (2).

На рисунке 2 – диаграмма длительности «энергоэффективного цикла» работы погружного насоса в скважине для различных параметров крутизны напорно-расходной характеристики

насоса $\text{tg}\beta = \{0,500; 2,833\}$ и при различной интенсивности роста гидравлических сопротивлений в водоприемной части скважины, вследствие протекания кольматационных процессов. Данные показатели рассчитаны на основании известных подходов, приведенных в специальной литературе [1, 2, 4].

В качестве текущего контрольного показателя энергоэффективности функционирования водозаборной скважины с погружным насосом (например, после замены насоса на менее производительный, или замены водоподъемных труб), может применяться показатель энергоэффективности водоподъема $K_{\text{ев}}$ [5], рассчитываемый как количество кубометров поднятой жидкости в расчете на 1 киловатт затраченной мощности насосом и легко вычисляемый по показаниям счетчиков гидравлической и электрической энергии, с поправкой на объем откачиваемой жидкости W_1 в течении 1000 часов по рассматриваемому варианту, отнесенную к объему W_0 откачиваемой жидкости в течении 1000 часов по первоначальному (проектному) варианту

$$K_{\text{ев}} = \frac{W_1 * Q_H}{W_0 * P_2} \quad (3)$$

Условием применения данного показателя является сохранение достаточности требуемой потребителю производительности водозабора.

Длительность периода «энергоэффективного цикла жизни скважины» – (**Well LCL_{ee}** – *The Length of the Well lifecycle (energy-efficient)*) может быть равна длительности периода «энергоэффективного цикла жизни погружного насоса в скважине» – (**Pump LCL_{ee}** – *The Length of the life cycle submersible Pump in the Well (energy-efficient)*), или может быть увеличена (для действующих скважин) за счет применения специальных методов:

1. Уменьшением гидравлических сопротивлений в водоприемной части скважины – фильтре и прифилтровой зоне скважины путем проведения реагентной или иной обработки [3] с возможностью удвоения первоначального «энергоэффективного цикла жизни погружного насоса в скважине».

2. Уменьшением гидравлических сопротивлений в зоне нагнетания насоса путем изменения схемы водоподъема из скважины [5] на установку насоса без водоподъемных труб [6] –

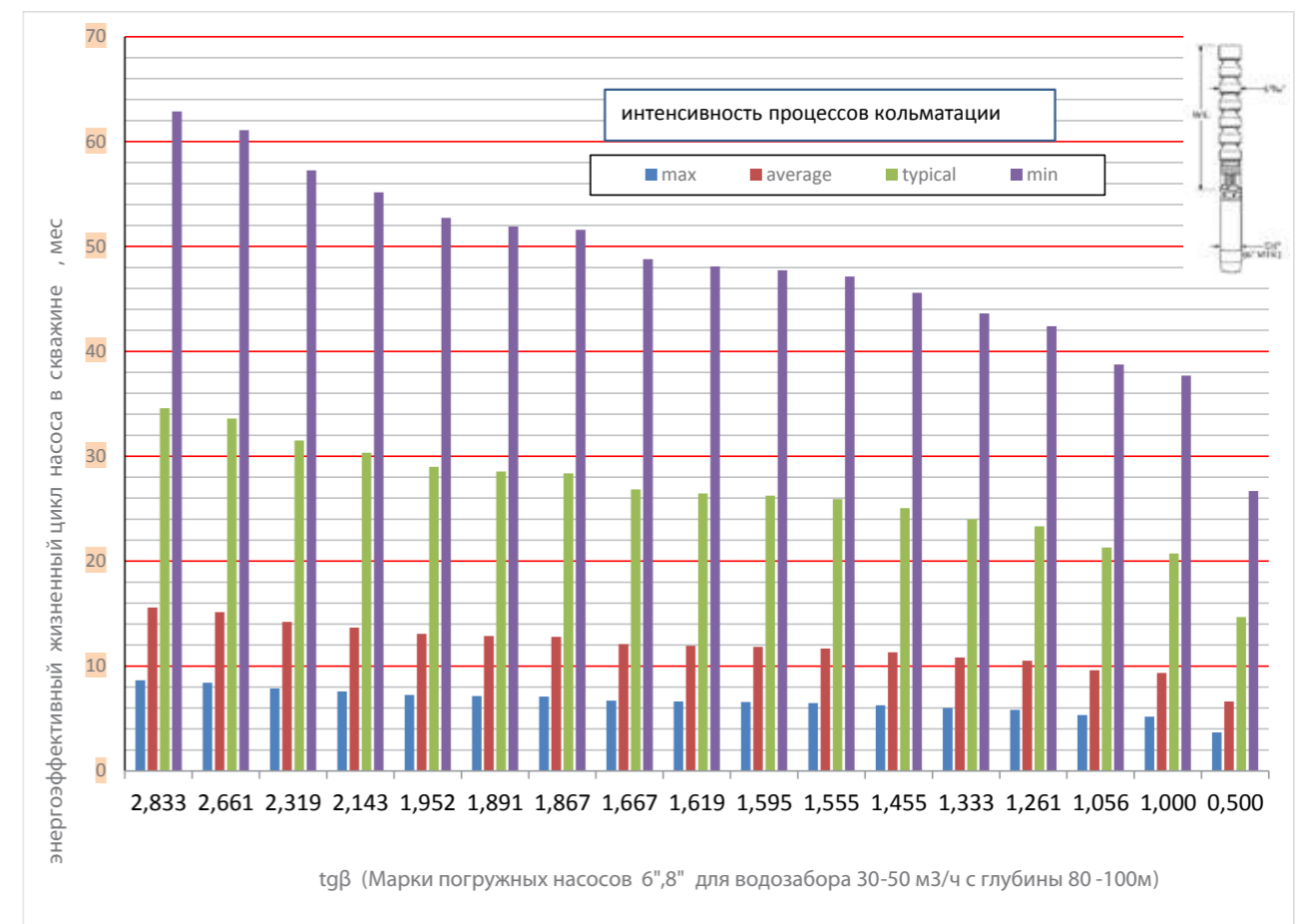


Рисунок 2 «Энергоэффективный цикл жизни в скважине» погружных насосов различных производителей.

(PSWR-systems – *The pumping system without the riser of pipes*) с возможностью увеличения «энергоэффективного цикла жизни погружного насоса в скважине на величину, соответствующую степени уменьшения гидравлических сопротивлений в зоне нагнетания насоса (детально просчитанных в [7] – прим. автора).

3. Изменением точки отбора жидкости в водоприемной части скважины («вкладка в фильтр») путем перераспределения фильтрационной нагрузки на наименее нагруженные и наименее закольматированные участки фильтра скважины [8] – при всей очевидной простоте требует специальных исследований, т.к. в промышленном современном контрольно-измерительном оборудовании для скважин отсутствуют серийно выпускаемые технические средства контроля распределения давлений в перфорированной части фильтра скважины.

4. Повышения проницаемости пласта и призабойной зоны методом гидроразрыва пласта (ГРП), широко используемого при освоении нефтяных скважин, но несмотря на наличие разработок необходимого оборудования [6], пока не применяется ввиду малой изученности в практике эксплуатации водозаборных скважин в РФ и отсутствия скважинных фильтров двунаправленного хода с необходимой прочностью.

Своевременное и неоднократное проведение восстановительных мероприятий при эксплуатации скважин в развитых странах (например, в США) позволяет продлить первоначальную длительность «энергоэффективного цикла жизни погружного насоса в скважине» кратно обработкам, до момента, когда списание скважины производится по иным основаниям, базирующимся на экономической



целесообразности, когда финансовый поток от продажи воды оператором услуг водоснабжения, перестает покрывать издержки обслуживания скважины.

Таким образом, продолжительность энергоэффективного цикла работы скважины определяется стратегией и управленческими решениями менеджмента оператора услуг водоснабжения, а проектную производительность скважин необходимо поддерживать во время эксплуатации (энергоэффективный жизненный цикл скважины), для чего существует ряд технологических приемов [3, 6, 8]. Когда принимают решение о необходимости восстановительных мероприятий, осуществляемых на водозаборной скважине, то считают, что стоимость такого ремонта окажется значительно меньше стоимости новой скважины, а эффективность восстановленной скважины окажется равной или незначительно ниже эффективности новой скважины.

Цикл жизни скважины – нормативный

В отношении длительности периода «нормативного цикла жизни скважины» – (**Well LCL_{nor}** – *The normative Length of the life cycle Water Well*), и «нормативного цикла жизни скважинного насоса» – (**Pump LCL_{nor}** – *The Length of the life of normativ cycle submersible pump in the well*), следует сделать следующие замечания. Регламентирующими документами [9] по ведению бухгалтерского учета основных средств на предприятиях в РФ водозаборные скважины отнесены к шестой амортизационной группе (имущество со сроком полезного использования свыше 10 лет до 15 лет включительно), а погружные скважинные насосы (называемые в тексте [9] как «артезианские и погружные» – прим. автора) числившиеся ранее в третьей группе переведены во вторую амортизационную группу (имущество со сроком полезного использования свыше 2 лет до 3 лет включительно).

Если для скважинных погружных насосов длительность нормативного цикла примерно соответствует длительности цикла энергоэффективного (рис. 2), то многолетние межрегиональные исследования, проведенные еще в период СССР [1, 3] по скважинам, вскрывающим водоносные горизонты в рыхлых песчаных отложениях показали, что действительная длительность рабочих циклов скважин (рис. 1, формула (1)), значительно ниже нормативных.

Так, например, рабочий цикл идеальной, технически «правильно» построенной скважины с отрицательным скин-эффектом и максимальным «временем запаздывания» 4 месяца [3] – (коэффициент «старения» скважины $0,01 \text{ мес.}^{-1}$, с минимальной интенсивностью протекания кольматационных процессов – график «best» на рисунке 1) составляет при практически уже сухой (10% от первоначального дебита) скважине $q_1(t)/q_0=0,1$ всего 100 месяцев, что в сумме составляет (8 лет и 4 месяца) + (4 месяца) = (8 лет и 8 месяцев), но никак не 10 и не 15 лет.

Учитывая, царившую после 90-х годов бесконтрольность в сфере строительства водозаборных сооружений и резкое падение качества строительства и освоения скважин, значительное количество построенных за этот период сооружений либо уже снизили производительность до неприемлемых уровней и фактически остановлены, либо близки к ней. Так, например, для категорий скважин, указанных выше, снижение удельного дебита на 60% (уровня, когда необходимы восстановительные мероприятия) происходит для известного [1] диапазона интенсивности кольматации {0,011; 0,080} при рабочем цикле скважины всего за {39,8; 5,0} месяцев. Поэтому ставка амортизационных отчислений для предприятий, особенно с государственно-муниципальным участием, имеющих на своем балансе отработавшие скважины, давно превратилась из меры стимулирования расширенного воспроизводства в форму дополнительного скрытого налогообложения, отвлекающего и замедляющего функционирование оборотных средств предприятий.

Подписанные руководителем Правительства РФ международные акты [10] по присоединению РФ к международной конвенции по снижению выбросов парниковых газов, законодательные акты РФ по энергосбережению [11] и принятые адаптированные международные нормативные документы по стандартизации контроля энергоэффективности [12] обязывают участников хозяйственной деятельности на территории РФ применять комплекс мер по энергосбережению и контролю энергоэффективности машин механизмов и сооружений, поэтому указанный в регламентирующем документе [9] **амортизационный срок службы водозаборной скважины 10 лет является противоречащим логике указанных выше документов, т.к. законодательно понуждает участников хозяйственной**

деятельности вести энергозатратную экономически и экологически невыгодную эксплуатацию машин, механизмов и сооружений наносящую вред окружающей среде и противоречащую международным договорам и обязательствам Российской Федерации и, следовательно, **этом показатель нуждается в пересмотре**.

Удельный вес организаций, использующих систему контроля за загрязнением окружающей среды, в общем числе обследованных Росстатом организаций, в производстве и распределении электроэнергии, газа и воды составляет всего 16,2%.

Точечные оценки основных фондов операторов услуг водоснабжения и водоотведения на муниципальном уровне свидетельствуют о ~80% степени изношенности, что согласуется с данными официальной статистики: за период с 2005 по 2015 гг., степень износа основных фондов, предприятий, осуществляющих деятельность в производстве и распределении электроэнергии, газа и воды изменилась с 55,6% до 48,7%. При этом на долю предприятий, непосредственно задействованных в распределении, сборе и очистке воды в суммарной выручке от общего объема работ и услуг с 2005 г. по 2015 г. приходится всего 6,1...5,1%, т.е. несмотря на размывание показателя «степень износа основных фондов» ростом ввода распределительных сетей электро- и газоснабжения, падение объемов забора воды из природных водных объектов для использования в РФ произошло с уровня 1992 г. к 2014 г. на 36,5%, а с уровня 2000 г. к 2014 г. на 16,7%, косвенно подтверждает оценки муниципалитетов, т.к. означает фактически выведение из хозяйственного оборота инженерных сетей и сооружений сопоставимого сокращению объемов водопотребления.

Приведенные выше данные дают основание предположить о необходимости решения вопросов реконструкции, либо остановки, выведения из хозяйственного оборота и списания к 2020 г. значительной части парка действующих скважин, в том числе как **энергонезэффективных**, что может привести к коллапсу в сфере коммунального и промышленного водоснабжения.

Показатель амортизационного срока службы водозаборной скважины в регламентирующем документе [9] необходимо не только скорректировать, но и дополнительно районировать по регионам РФ в зависимости от реально

достигнутых продолжительностей «рабочих циклов жизни скважин» в регионах на основании статистических данных наблюдений операторов услуг водоснабжения и водоотведения за темпами снижения удельных дебитов скважинных водо-заборов и истощением запасов подземных вод.

Отдельными государственными актами правительства РФ должны быть предусмотрены меры финансовой поддержки и снижения фискальной налоговой нагрузки на участников хозяйственной деятельности в РФ, стимулирующие проведение мероприятий, перечисленных в п.п. 1, 2, 3 на применения специальных методов [3, 6, 8], обеспечивающих возможность увеличения «энергоэффективного цикла жизни скважины» выше скорректированного нормативного.

Выводы

1. Длительность «рабочего цикла жизни» отдельной водозаборной скважины определяется как условиями групповой работы водозабора в целом, так и политикой оператора услуг водоснабжения по удовлетворению спроса на воду потребителями. По известным информационным данным составляет для одной из массовых категорий скважин от 5 до 40 месяцев. В течение общего времени использования скважины может наблюдаться несколько «рабочих циклов жизни» кратных периодичности применения восстановительных и ремонтных мероприятий на скважине.

2. Длительность «энергоэффективного цикла жизни скважины» может быть равна как длительности «энергоэффективного цикла жизни погружного насоса в скважине», так и может быть увеличена (для действующих скважин) за счет применения специальных методов и оборудования.

3. Длительность «нормативного цикла жизни скважины» установленная регламентирующими документами по ведению бухгалтерского учета основных средств на предприятиях в РФ как **амортизационный срок службы водозаборной скважины от 10 лет до 15 лет** не соответствует международным обязательствам, взятым на себя Российской Федерацией, а также внутренним законодательным актам по энергосбережению и контролю энергоэффективности

машин механизмов и сооружений и нуждается в пересмотре, т.к. классификационное решение подзаконного акта понуждает участников хозяйственной деятельности вести противоправную, энергозатратную, экономически и экологически невыгодную эксплуатацию машин, механизмов и сооружений.

4. Длительность «нормативного цикла жизни скважины» должна быть максимально приближена к длительности «энергоэффективного цикла жизни скважины» и дополнительно районирована по регионам РФ в зависимости от реально

достигнутой продолжительности «рабочего и энергоэффективного циклов жизни скважины» на основании статистических данных наблюдений операторов услуг водоснабжения и водоотведения, т.к. водозаборная скважина – это стандартизированное инженерное сооружение для получения материального ресурса – воды из природных систем, по разному влияющих на условия жизнедеятельности как применяемых машин, так и самого сооружения и норматив амортизационных отчислений должен быть не больше и не меньше, чем необходимо, чтобы оставаться мерой стимулирования расширенного воспроизводства.

Литература:

1. Плотников Н.А., Алексеев В.С. Проектирование и эксплуатация водозаборов подземных вод. – М.: Стройиздат, 1990. – 256 с.
2. Пособие по проектированию сооружений для забора подземных вод (к СНиП 2.04.02-84) // ВНИИ ВОДГЕО Госстроя СССР, М., Стройиздат, 1989 – 272 с.
3. Алексеев В.С., Гребенников В.Т. Восстановление дебита водозаборных скважин. – М.: Агропромиздат, 1987 – 239 с.
4. Фисенко В.Н. О нормативном сроке службы погружных многоступенчатых центробежных электронасосов в скважинах / Международная научно-техническая конференция «ЕСОPUMP-RUS'2016 «Энергоэффективность и инновации в насосостроении. Импортзамещение и локализация производства в России» – 26 октября 2016 г., Москва, Изд. МВЦ «Крокус-Экспо» – 2016, с. 48-61.
5. Фисенко В.Н. Энергосбережение при эксплуатации скважинных водозаборов подземных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. №11. С. 22-33.
6. Трусов М.М., Фисенко В.Н., Райт В.Я. Технология проектирования, строительства и эксплуатации, водозаборных вакуум-скважин с водоподъемом по колоннам обсадных труб погружными электронасосами. Установка насосная для беструбного водоподъема из скважин, г. Джембул, Облтипография, 1990. – 30 с. – (<http://elibrary.ru/item.asp?id=25541861>) – дата обращения 26.01.2017.
7. Фисенко В.Н. Гидравлическая оптимизация и оборудование водоподъема из скважин с беструбной установкой погружных электронасосов: автореферат дис. кандидата технических наук: 05.23.04 / Всесоюз. комплекс. научно-исслед. и конструктор.-технологич. ин-т. – М., ВНИИВОДГЕО Госстроя СССР 1991. – 25 с. (<http://search.rsl.ru/ru/record/01000016527>) – дата обращения 26.01.2017.
8. Тесля В.Г. Реконструкция водозаборных скважин в сельской местности // Водоснабжение и санитарная техника. 2010. №5. С. 22-27.
9. Постановление Правительства Российской Федерации от 01.01.2002г. №1 «О классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы» (в ред. Постановлений Правительства РФ от 09.07.2003 №415, от 08.08.2003 №476, от 18.11.2006 №697, от 12.09.2008 №676, от 24.02.2009 №165, от 10.12.2010 №1011, от 06.07.2015 №674).
10. https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_russian_.pdf – дата обращения 26.01.2017.
11. ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЗАКОН от 23 ноября 2009 года №261-ФЗ «ОБ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ И О ПОВЫШЕНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ...».
12. ГОСТ 33969-2016 «ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НАСОСНЫХ СИСТЕМ» (ISO/ASME 14414:2015,MOD).

НОВОСТИ