

ПРИМЕНЕНИЕ ГЛУБИННОГО ПНЕВМОПАТРОНА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН.

Вячеслав Лесной, Леонид Слѐз, Надежда Кенджаева

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Макеевка
Адрес: 86123, Украина, Донецкая область, Макеевка, ул.Державина, 2, e-mail:ljusik@matrixhome.net

Аннотация. Выполнены исследования по применению пневмовзрыва для восстановления производительности водозаборных скважин. Рассмотрен механизм пневмовзрыва в условиях водозаборной скважины. Установлено, что пневмовзрыв генерирует волны малой амплитуды. Получены зависимости, необходимые для вычисления основных параметров воздействия пневмовзрыва на фильтр и прифилтровую область водозаборной скважины. Проведены лабораторные и промышленные испытания глубинного пневмопатрона.

Ключевые слова: водозаборная скважина, кольматация, дебит скважины, восстановление дебита, глубинный пневмопатрон.

ВВЕДЕНИЕ

В процессе эксплуатации скважин их производительность (дебит) может быстро и значительно уменьшаться [8]. Это может быть вызвано различными факторами: механическое воздействие, физико-химическое, электрохимическое, бактериологи-ческое, неправильный режим эксплуатации и др. Бурение и запуск в эксплуатацию новой скважины – дорогостоящий и длительный процесс. Наиболее эффективными методами восстановления дебита водяных скважин являются импульсные методы [1,4,6,7,19]. Импульсные методы не только разрушают кольматирующие отложения на фильтре скважины, но и воздействуют на призабойную зону скважины. Одним из наиболее эффективных методов воздействия на фильтр и прифилтровую область скважины является “пневмовзрыв” [1,4,7,19]. Опыт восстановления производительности водозаборных скважин показал, что при значительной глубине воды в скважине обычные пневмопатроны прекращают работу из-за запираания поршня [6,16]. Кафедрой “Водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов” ДонНАСА разработан глубинный пневмопатрон, способный работать при

высоком внешнем гидростатическом давлении и восстанавливать скважины глубиной до 1000 м [18].

1. Описание работы глубинного пневмопатрона.

Пневмопатрон работает следующим образом. Сжатый воздух по рукаву высокого давления поступает в зарядную камеру 2 пневмопатрона. Через отверстие в поршне заполняется ресивер 11. Площадь торцевой части поршня со стороны ресивера в 1,12 раза больше площади поршня со стороны зарядной камеры. Поэтому при выравнивании давлений в зарядной камере и ресивере сила давления воздуха на поршень со стороны ресивера становится большей, чем со стороны зарядной камеры. Под действием разницы сил поршень начинает двигаться в сторону зарядной камеры. Как только носик поршня выйдет из уплотнительного фторопластового кольца 10, воздух заполнит предварительную камеру, после чего давление, такое же, как в ресивере, распространится на всю площадь поршня, которая почти в 3,5 больше площади носика поршня, бывшего во фторопластовом кольце. Сила, действующая на поршень со стороны ресивера, в этот момент значительно увеличивается. Поршень приобретает большое ускорение и за малый промежуток времени (около 3 миллисекунд) открывает выхлопные отверстия [19,20].

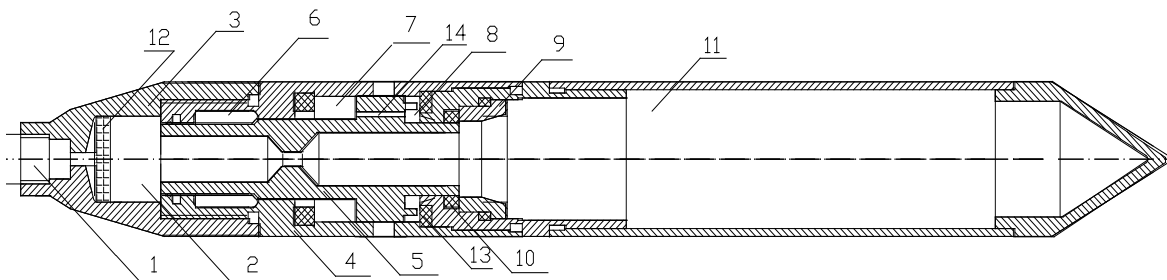


Рис. 1. Принципиальная схема глубинного пневмопатрона
Fig.1. The basic circuit of a deep pneumopatron.

2. Механизм пневмовзрыва в условиях водо-заборной скважины.

Процесс истечения воздуха через выхлопные отверстия весьма быстротечен и поэтому без значительной погрешности может считаться адиабатическим.

При выхлопе сжатого воздуха через выхлопные окна пневмопатрона происходит, практически мгновенное струевидное истечение воздуха в воду. В результате сопротивления окружающей среды струи, расширяясь, образуют пузырь. Кинетическая энергия струй при образовании воздушного пузыря преобразуется в потенциальную энергию давления, в связи, с чем начальное давление в пузыре значительно выше давления окружающей среды [7,17]. Начальное высокое давление в газовом пузыре (значительно большее, чем гидростатическое давление окружающей среды) вызывает быстрое расширение пузыря. Вода в непосредственной близости от газовой сферы, обладает значительной скоростью расходящегося движения. По мере развития этого процесса давление в пузыре падает, но расширение пузыря продолжается вследствие инерции расширяющегося потока воды. В момент, когда давление в пузыре становится ниже гидростатического давления окружающей среды, прекращается его расширение и расходящееся движение воды. Сходящееся движение газового пузыря продолжается до тех пор, пока увеличение давления воздуха в пузыре не прекратит это сокращение. Инерционность и этого движения воды вокруг пузыря приведет к тому, что давление в пузыре в конце процесса его сжатия станет больше гидростатического давления окружающей среды, после чего пузырь снова начинает рас-

ширяться, а давление в нем падать [7,17]. Таким образом, пузырь совершает последовательные циклы расширения и сжатия с непрерывным затуханием (рис. 2). Эти пульсации воздушного пузыря, поддерживаемые все новыми выхлопами сжатого воздуха, приводящие к интенсивному перемещению значительных масс жидкости, вызывают мощный волновой процесс, управляя которым можно достаточно успешно разрушать колья на фильтре и в прифильтровой области скважины [17].

3. Определение основных параметров воздействия глубинным пневмопатроном на фильтр и прифильтровую область водо-заборной скважины.

Эффективность работы глубинного пневмопатрона можно оценивать по мощности, необходимой для раскольячивания скважин. Мощность выхлопа скважинного пневмопатрона может быть определена по формуле [5]:

$$N = \frac{\Delta p \cdot W}{\tau(K - 1)} \eta, \tag{1}$$

где Δp – разность давлений в ресивере и окружающей среде; K – коэффициент адиабаты (для воздуха $K=1,4$)

W – объем воздуха, истекающий в жидкую среду за время открытия выхлопных отверстий, зависящий от противодействия, то есть от давления окружающей среды; η - коэффициент полезного действия пневмопатрона; τ - время выхлопа, с.

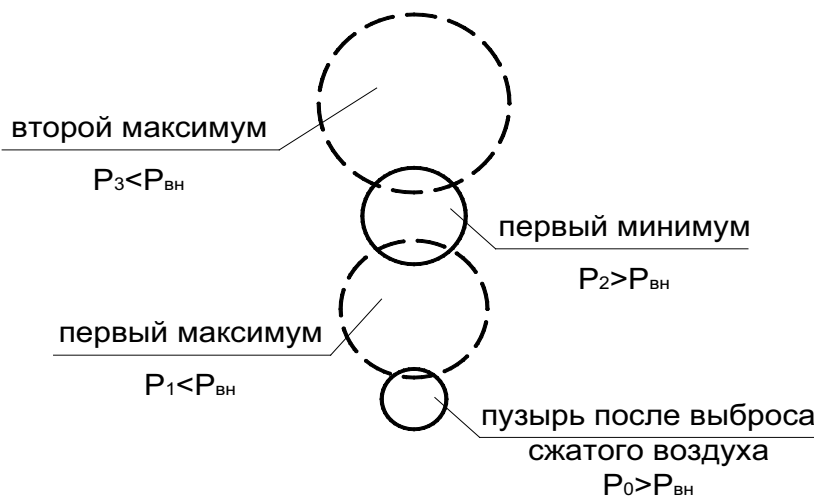


Рис. 2. Процесс расширения и сжатия пузыря.
Fig. 2. Process of expansion and compression of a bubble.

Для эффективной работы пневмопатрона необходимо, чтобы мощность выхлопа, необходимая для декольматации скважины, могла быть достигнута при, практически, любом внешнем гидростатическом давлении. Работа, совершаемая сжатым воздухом при его расширении, при различных внешних давлениях будет одинаковой при условии [15,19,20]:

$$\frac{A'}{A} = \left(\frac{P'_0}{P_0}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \frac{1 - \left(\frac{P_{BH}}{P'_0}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}}{1 - \left(\frac{P_{AT}}{P_0}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}} = 1 \quad (2)$$

где

A – работа, совершаемая сжатым воздухом во время выхлопа при внешнем гидростатическом давлении близком к атмосферному, Дж;

A' – работа, совершаемая сжатым воздухом во время выхлопа при внешнем гидростатическом давлении отличном от атмосферного, Дж;

P_{BH} и P_{AT} – внешнее и атмосферное давление соответственно, МПа;

P_0 – давление в ресивере пневмопатрона, которое необходимо создать для разрушения кольматанта на

небольшой глубине, соответствующей давлению приблизительно равному P_{AT} , МПа;

P'_0 – давление в ресивере пневмопатрона, которое необходимо создать для разрушения кольматанта на глубине, соответствующей внешнему гидростатическому давлению P_{BH} , МПа.

Используя зависимость (2), были получены кривые (рис. 3), с помощью которых можно ориентировочно определить давление в ресивере пневмопатрона, необходимое для декольматации скважин. Для этого необходимо знать характер отложений и мощность выхлопа, необходимую для разрушения кольматанта при давлении близком к атмосферному. Тогда, по известной глубине и необходимой кривой определяется давление в ресивере пневмопатрона, которое необходимо создать для разрушения кольматанта.

При воздействии импульсных нагрузок разрушение твердых осадков определяется их максимальной прочностью, напряжением на фронте ударной волны и временем приложения нагрузки. Давление ударной волны p и время ее действия t учитываются импульсом давления – интегралом давления по времени [5]:

$$I(t) = \int_0^t p(t) dt$$

Величину импульсного давления численно можно определить как площадь фигуры (рис. 4), ограниченной сверху – графиком подынтегральной функции $p(t)$ (зависимость давления на стенку фильтра скважины от времени), снизу – осью абсцисс (Ox), слева – осью ординат (Oy), справа – значением $t=t_{max}$, соответствующим времени, затраченному на изменение объема воздушного пузыря от начального V_n до максимального V_{max} .

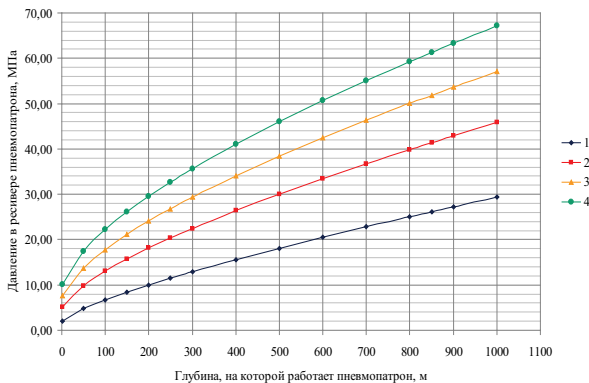


Рис. 3. Зависимость давления в ресивере пневмопатрона от глубины, на которой работает пневмопатрон.

1 – давление в ресивере пневмопатрона 2,0 МПа, достаточное для разрушения кольматирующих отложений на глубине 1 м; 2 – давление в ресивере пневмопатрона 5,0 МПа, достаточное для разрушения кольматирующих отложений на глубине 1 м; 3 – давление в ресивере пневмопатрона 7,5 МПа, достаточное для разрушения кольматирующих отложений на глубине 1 м; 4 – давление в ресивере пневмопатрона 10,0 МПа, достаточное для разрушения кольматирующих отложений на глубине 1 м.

Fig. 3. The dependence of pressure in receiver of pneumatic gun from depth, on which works pneumatic gun.

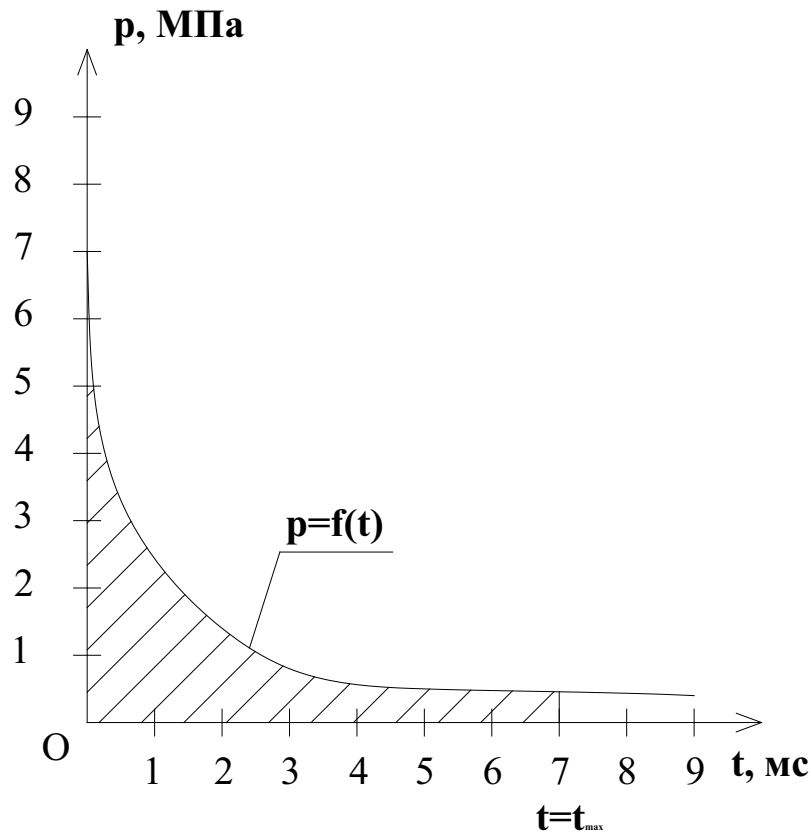


Рис. 4. График зависимости давления на стенку фильтра скважины от времени.
 Fig. 4. The diagram of dependence of pressure on a wall of the filter of a chink from time.

В результате вычислений было установлено, что импульс давления на стенку фильтра, при воздействии на него глубинным пневмопатроном, не превышает 200 кПа*с, что является допустимым при обработке скважин импульсными методами.

4. Лабораторные и промышленные испытания глубинного пневмопатрона.

В результате проведения экспериментов подтверждена способность работы пневмопатрона при высоком внешнем гидростатическом давлении (до 5,0 МПа). При этом была подтверждена зависимость давления в ресивере пневмопатрона, которое необходимо создать для разрушения кольматанта, от глубины обрабатываемой зоны фильтра скважины [9,11].

Промышленные исследования проводились на двух скважинах второго Донецкого водозабора [6]. Удельный дебит увеличился в среднем в 4,5 раза. При обработке скважины имел место значительный эрлифтный эффект. Водовоздушная смесь поднималась над уровнем земли на высоту 4-5 метра [12,14].

Эрлифтный эффект позволил вынести разрушенные кольматирующие отложения. Обследование скважин с помощью телевизионного зонда показало полное разрушение кольматанта, находившегося на внутренней поверхности фильтра, и удаление разрушенного кольматанта за счёт эрлифтного эффекта, обусловленного работой глубинного пневмопатрона. В результате осмотра нарушений в конструкции скважин не обнаружено.

Экономическая эффективность (Э) работ по восстановлению дебита водозаборных скважин с использованием предложенной технологии подсчитана путем сравнения затрат на устройство новой скважины и восстановление [2]:

$$\text{Э} = K_{\text{нов}} - K_{\text{вос}} \frac{q_0}{\Delta q}$$

Где $K_{нов}$ – затраты на устройство новой скважины, грн.; $K_{вос}$ – затраты на восстановительные работы, грн.; q_0 – удельный дебит при сдаче скважины в эксплуатацию, м²/ч.; Δq – приращение удельного дебита в результате восстановительных работ, м²/ч.

При расчетах принято, что дебит новой скважины будет удовлетворительным в течение 5 лет, а дебит скважины восстановленной с применением глубинного пневмопатрона – в течение 1 года. Тогда годовую экономическую эффективность следует определять по формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{K_{нов}}{5} - \frac{K_{вос} \frac{q_0}{\Delta q}}{1} = \frac{K_{нов}}{5} - K_{вос} \frac{q_0}{\Delta q}$$

Годовая экономическая эффективность применения глубинного пневмопатрона для восстановления производительности скважин на воду составила 12133,4 (грн./год). Годовая экономическая эффективность от применения усовершенствованной технологии на один погонный метр фильтра скважины составляет 171,4 грн./м*год.

Для увеличения экономической эффективности необходимо стабилизировать удельный дебит. А именно, рекомендуется обработка скважин реагентами селективного действия с последующим устройством акустического воздействия на пласт с помощью вихревого генератора [3,10,13].

ВЫВОДЫ

Выполнены исследования по применению глубинного пневмопатрона для восстановления дебита водозаборных скважин. Применение глубинного пневмопатрона позволяет значительно увеличить производительность и снизить эксплуатационные затраты подземных водозаборов, снизивших свой дебит в связи с кольматацией фильтра и прифилтровой зоны водозаборных скважин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Slioz L., Zagoruyko T., Lesnoy V., 2005.: The Review of Methods of Recovery of Water Well Output // Вестник ДонГАСА – Макеевка: ДонГАСА, – 2005-4(52), 99 – 100.
2. Алексеев В., Гребенников В., 1975.: Экономическое обоснование ремонтных работ на водозаборных и дренажных скважинах.// Экспресс-информация ЦБНТИ, серия 3, вып. 6. – 37.
3. Saliev E. , 2009. Ecological and economic problems saving up technologies' introduction in Ukraine// MOTROL. - №11B, 104 – 110.
4. Балинченко О., Лесной В., Кенджаева Н., 2011.: Теоретические исследования по применению ультразвукового воздействия для восстановления дебита скважин.// “Сучасні екологічно безпечні та енергозберігаючі технології в природокористуванні”: зб. тез Міжн. наук.-практ. конф. молодих вчених і студентів. – ч. 2. – Київ: КНУБА, 33 – 35.
5. Лесной В., 2007.: Обзор существующих методов восстановления дебита водяных скважин// Сучасне промислове та цивільне будівництво – Макеевка: ДонНАСА. – №4, том 3, 198 – 202.
6. Лесной В., 2009.: Определение основных параметров воздействия глубинным пневмопатроном на фильтр и прифилтровую область водозаборной скважины.// III Міжн. наук.-техн. конф. „Актуальні проблеми водного господарства та природокористування”. – Рівне: НУВГП, 33 – 34.
7. Лесной В., 2010.: Снижение производительности водозаборных скважин в Донбассе и восстановление их дебита. // Наук. вісн. Будівництва. – Харків: ХДТУБА. – Вып.57, 340 – 345.
8. Лесной В., 2009.: Теоретические исследования по применению “пневмовзрыва” для восстановления дебита водяных скважин Донбасса // “Підвищення ефективності використання водних, теплових та енергетичних ресурсів та охорона навколишнього середовища”: зб. тез Міжн. наук.-практ. конф. молодих вчених і студентів. – Київ: КНУБА, 120 – 122.
9. Лесной В., Дубина О., Майстренко О., 2010.: Влияние химического состава подземных вод на кольматацию фильтров водозаборных скважин в Донецкой области// “Екологічні проблеми природокористування та ефективне енергозбереження”: зб. тез Міжн.наук.-практ. конф. молодих вчених і студентів. – Київ: КНУБА, 147 – 148.
10. Лесной В., Кенджаева Н., 2010.: Лабораторные исследования зависимости давления в ресивере пневмопатрона от глубины его погружения// “Екологічні проблеми природокористування та ефективне енергозбереження”: зб. тез Міжн. наук.-практ. конф. молодих вчених і студентів. – Київ: КНУБА, 139 – 142.
11. Лесной В., Михайленко Н., 2011.: Стабилизация дебита скважины после восстановления ее производительности// “Сучасні екологічно безпечні та енергозберігаючі технології в природокористуванні”: зб. тез Міжн. наук.-практ. конф. молодих вчених і студентів. В двох частинах. – ч. 2. – Київ: КНУБА, 35 – 36.

12. Лесной В., Рожков В., 2010.: Лабораторные исследования по применению глубинного пневмопатрона для восстановления дебита водозаборных скважин// Наук. вісн. будівництва – Харків: ХДТУБА. – Вып. 60, 149–157.

13. Лесной В., Слез Л., 2010.: Исследования эрлифтного эффекта при применении глубинного пневмопатрона для восстановления дебита водозаборных скважин// “Научно-техническое творчество молодежи – путь к обществу, основанному на знаниях”: сб. науч. докладов Межд. научно-практической конференции/Мос. гос. строит. ун-т – М: МГСУ, 135 – 136.

14. Лесной В., Шкилева А., 2011.: Влияние ультразвука на прифилтровую зону водозаборной скважины// “Сучасні екологічно безпечні та енергозберігаючі технології в природокористуванні”: зб. тез Міжн. наук.-практ. конф. молодих вчених і студентів. – ч.2. – К.:КНУБА, 44 – 45.

15. Лесной В., Шкилева А., 2010.: Теоретические исследования эрлифтного эффекта при применении глубинного пневмопатрона для восстановления дебита водозаборных скважин// “Екологічні проблеми природокористування та ефективне енергозбереження”: зб. тез Міжн. наук.-практ. конф. молодих вчених і студентів. – К.: КНУБА, 145 – 147.

16. Нащокин В., 1975.: Техническая термодинамика и теплопередача: учебн. пособие. – М.: Высшая школа. – 496.

17. Слез Л., 2002.: Анализ работы пневмопатронов, предназначенных для восстановления дебита водяных скважин// Вестник ДонГАСА – Макеевка: ДонГАСА,– 2002-2 (31), 135 - 139.

18. Сльоз Л., Загоруйко Т., Лесной В., 2005.: The mechanism of "pneumoexplosion" in water well conditions. Physical bases of the process// Зб. матеріалів наук.-практ. конференції студентів і молодих вчених – Макеевка: ДонНАСА, 19.

19. Слез Л., Лесной В., 2004.: К вопросу восстановления дебита водяных скважин// Вестник ДонГАСА – Макеевка: ДонГАСА. – 2004-4(46), 9 – 13.

20. Слез Л., Лесной В., 2004.: Получение воды из подземных источников// Вода і водоочисні технології. – №4, 24 –30.

21. Слез Л., Лесной В., 2010.: Теоретические исследования по применению пневмовзрыва для восстановления производительности водозаборных скважин// Вестник ОГАСА – Одесса: ОГАСА – Вып. 43, 120 – 125.

APPLICATION OF A DEEP PNEUMOCARTRIDGE (PNEUMOPATRON) FOR RECOVERY OF WATER WELL OUTPUT.

Summary. Work pneumopatron for high depth is given. Physical bases of the process of "pneumoexplosion" in water well conditions are considered. Theory's dependence receiver pressure from depth of water well received. Results of works on restoration of productivity of chinks with application of a deep pneumocartridge (pneumopatron) are resulted.

Key words: a water-supply well, colmatation, productivity of a well, productivity restoration, a deep pneumocartridge.