

*На правах рукописи*

**ШИБАНОВ**

**Борис Викторович**

**Совершенствование процесса восстановления гидрогеологических  
скважин с помощью центробежных  
виброгенераторов**

Специальность: 25.00.14 – *Технология и техника геологоразведочных работ*

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва - 2007

Работа выполнена на кафедре разведочного бурения имени Б.И. Воздвиженского  
Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго  
Орджоникидзе

Научный руководитель: доктор технических наук, член-корреспондент  
РАЕН Сердюк Николай Иванович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Алексеев Виталий Васильевич  
кандидат технических наук Петров Игорь Петрович

Ведущая организация: ЗАО «Союзгеопром»

Защита диссертации состоится 24 мая 2007 г. в 14 часов 30 минут в ауд. 4-15<sup>А</sup> на  
заседании диссертационного Совета Д 212.121.05 при Российском государственном  
геологоразведочном университете имени Серго Орджоникидзе по адресу: 117997, г.  
Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, РГГРУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РГГРУ.

Автореферат разослан «23» апреля 2007 г.

Ученый секретарь  
диссертационного Совета, к.т.н.

Назаров А.П.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность работы

Одним из важных мероприятий в процессе эксплуатации водозаборных скважин является восстановление их дебита.

Необходимость организации и проведения ремонтно-восстановительных мероприятий связана с тем, что скважинная фильтрационная система "водоносный коллектор – фильтр" имеет переменные во времени гидравлические характеристики. Причем, их нестационарность проявляется не только на этапе освоения горизонта и пуска скважины в эксплуатацию, но и в течение всего времени ее работы.

Осадконакопление, отложения химических соединений и других образований на поверхности фильтра, в толще гравийной обсыпки, в порах и трещинах водоносного коллектора (кольматаж) приводят к существенному снижению дебита скважины.

Проведение профилактических мероприятий по замедлению кольматационных процессов (стационарность режима эксплуатации скважины, предупреждение аэрации подземных вод, хлорирование и ионизирующее облучение скважины и др.) не исключает процессы химического и биологического кольматажа фильтров и при-фильтровых зон, а лишь в различной степени снижает скорость их протекания.

Для восстановления дебита водозаборных скважин разработаны соответствующие технологии и в большей или меньшей степени применяется значительное количество реагентных и безреагентных, комплексного и узкоцелевого действия способов.

Существующие восстановительные технологии приурочивают моменту существенного снижения фильтрационных характеристик системы "водоносный пласт – фильтр". Длительность времени между двумя соседними восстановительными мероприятиями (время стабильного действия скважины, называемое межремонтным периодом) может достигать у разных скважин от 3 до 35 месяцев. Сами процессы восстановления дебита требуют продолжительной остановки процесса водозабора, извлечения из скважины водоподъемного оборудования, доставку и спуск в скважину соответствующих технических средств и многое другое. Восстановление дебита

скважины связано со значительными организационными, временными и финансовыми затратами.

Многие авторы (В.М. Гаврилко, В.С. Алексеев, В.Т. Гребенников, Ю.А. Меламед, А.Т. Киселев, Н.И. Сердюк и др.) занимались вопросами кавитационного восстановления (регенерации) скважин. Однако, разработанные технологии применимы, в основном, в напорных водных горизонтах и являются капитальными.

Разработке технологии профилактического кавитационного восстановления дебита водозаборных скважин с применением погружных насосов, как в напорных, так и безнапорных горизонтах, посвящена настоящая диссертационная работа.

Первой отличительной чертой рассматриваемой технологии является то, что она не требует извлечения из скважины водоподъемного оборудования, доставки и применения специальных технических средств. Напротив, эксплуатируемое оборудование (погружной насос) служит приводом находящегося в скважине гидродинамического генератора кавитационных колебаний жидкости (виброгенератора, или кавитатора). Время работы кавитатора невелико и составляет 10-60 мин.

Второй отличительной чертой технологии кавитационного восстановления дебита с применением погружного насоса является не капитальный (после существенного снижения фильтрационных характеристик), а профилактический (через короткие периоды времени, до наступления момента существенной кольматации фильтра и прифилтровой зоны) характер восстановительных мероприятий. Малое время работы кавитатора и объясняется незначительной степенью кольматации.

В этом смысле разработка рассматриваемой технологии является актуальным направлением научных исследований.

## **Цель работы**

Снижение стоимости мероприятий по восстановлению дебита и продлению срока эксплуатации скважины за счет разработки технологии профилактического кавитационного восстановления дебита с применением погружных насосов.

## **Основные задачи исследований**

Для достижения поставленной цели – повышения эффективности регенерации скважин на воду – в процессе научных исследований нужно было решить следующие задачи:

- провести анализ существующих технологических решений в области импульсной регенерации скважин на воду;
- уточнить существующую классификацию методов восстановления дебита скважин с учетом технологий, не требующих демонтажа водоподъемного оборудования;
- изучить и проанализировать критерии управления явлением гидродинамической кавитации в скважине;
- разработать методику и подготовить экспериментальную базу для изучения работы системы "погружной насос – обводная магистраль – кавитационный генератор";
- провести экспериментальные исследования и проанализировать напорные характеристики погружного насоса и сети "обводная магистраль – кавитатор";
- изучить расходные характеристики системы "скважинный фильтр – водоносный пласт";
- разработать модель кавитационной декльматации;
- разработать базовые технологические схемы установки погружных насосов и соответствующие им схемы размещения кавитационных генераторов;
- разработать конструкцию и проанализировать гидродинамические характеристики кавитационного генератора центробежного типа.

## **Методика исследований**

Для решения поставленных задач применялись общие принципы методологии научных исследований, включающие в себя анализ и обобщение литературных ис-

точников, проведение экспериментальных и теоретических исследований. Использовались методики научных исследований и фундаментальные результаты технической гидромеханики. Расчеты проводились на ПЭВМ в системе MATHCAD.

### **Научная новизна диссертации**

- Установлена зависимость скорости жидкости, протекающей через кавитатор, от параметров (плотность, температура) жидкости и глубины погружения кавитатора ниже динамического уровня.
- Установлена зависимость давления, развиваемого погружным насосом при работе осевого виброгенератора от глубины погружения насоса, расположения виброгенератора и величины перепада давления на электрогидравлическом клапане.
- Установлена зависимость величины гидравлических сопротивлений от конструктивных параметров осевого виброгенератора и параметров параллельно соединенных трубопроводов.
- Установлена зависимость расхода жидкости от конструктивных параметров центробежного виброгенератора и абсолютной скорости движения жидкости.

### **Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**

Практические рекомендации и защищаемые научные положения обоснованы достаточным объемом теоретических и экспериментальных исследований, а также проверкой положений, выводов и рекомендаций в экспериментальных условиях, максимально приближенных к производственным, и достаточной сходимостью результатов.

## **Практическое значение.**

На основании проведенных теоретических экспериментальных исследований по теме диссертации:

- Установлены области максимальных водопритоков в системе "водоносный пласт – фильтр" при различных технологических схемах установки погружных насосов.
- Обоснованы рациональные схемы размещения кавитационных генераторов в фильтровой колонне.
- Предложена наиболее энергетически выгодная конструкция кавитационного генератора – кавитатор центробежного типа.

Приведенные в работе аналитические и экспериментальные зависимости рекомендуются к практическому применению в производственных условиях.

Результаты исследований могут быть использованы в учебном процессе в рамках курса «Бурение скважин на воду».

## **Апробация работы**

Основные положения диссертации докладывались на научных заседаниях VI международной конференции "Новые идеи в науках о Земле" (МГГРУ, 2003г.), IV международной научно-практической конференции "Наука и новейшие технологии при освоении месторождений полезных ископаемых" (МГГРУ, 2004г.), на семинаре кафедры разведочного бурения (МГГРУ, 2005г.) и на производственных совещаниях ЗАО "Гидроинжстрой".

## **Публикации.**

По теме диссертации опубликовано 13 статей, получено 2 патента, свидетельство на полезную модель, издано 2 учебных пособия.

## **Объем и структура диссертации.**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, основных выводов по диссертации и научных положений, списка литературы из 190 наименований, содержит 24 рисунка и 13 таблиц.

Во введении обосновывается актуальность работы, цели и задачи исследований.

В первой главе диссертации проведен анализ современного состояния технологических разработок в области восстановления дебита водозаборных скважин.

Во второй главе диссертации приводится уточненная классификация методов регенерации. Рассмотрена сущность явления кавитации. Проведена оценка критериев управления явлением кавитации – скорости струи жидкости в кавитаторе и отношения давлений при выходе и входе в кавитатор. Сделан вывод об эквивалентности этих критериев.

Получены расчетные зависимости необходимой скорости жидкости и соответствующего давления, развиваемого насосом.

Третья глава посвящена экспериментальным и аналитическим исследованиям гидродинамических характеристик погружного насоса, обводной магистрали, кавитационного генератора, фильтра и прифилтровой зоны. Исследованы напорные характеристики погружного насоса и системы "обводная магистраль - кавитационный генератор". Рассмотрена их совместная работа. Проанализирована расходная характеристика системы "скважинный фильтр – водоносный пласт". Приведены базовые технологические схемы установки погружных насосов и рациональные схемы размещения кавитационных генераторов в фильтровой колонне.

В четвертой главе диссертации рассмотрена регенерирующая кавитационная обработка скважин с одновременным отбором воды. Отмечено снижение гидросопротивлений в водоносном пласте при вибрационном воздействии кавитации. Рассмотрены модели кавитационной декольматации - кумулятивное воздействие струй на кольматант при конденсации кавитационных пузырьков и механическое истирание кольматанта в псевдооживленном под вибрационным воздействием кавитации песчаном коллекторе. В главе исследованы закономерности течения воды в параллель-



но соединенных магистральных "погружной насос – потребитель" и "погружной насос – кавитационный генератор". Предложена конструкция кавитационного генератора центробежного типа, позволяющая реализовать кавитационную обработку при меньших значениях расхода воды.

В заключении приведены основные выводы и рекомендации по диссертационной работе, сформулированы научные положения.

Автор глубоко признателен научному руководителю д.т.н., профессору, кафедры разведочного бурения члену-корреспонденту РАЕН Н.И. Сердюку за методическую, практическую и организационную помощь при выполнении диссертационной работы.

Автор выражает особую благодарность д.т.н., профессору, академику РАЕН Д.Н. Башкатову за ценные указания и обсуждение работы.

Автор благодарит коллективы кафедры разведочного бурения РГГРУ и ЗАО "Гидроинжстрой" за помощь, поддержку и содействие.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **Краткие сведения по изучаемому вопросу**

Огромный вклад в развитие техники и технологии бурения и регенерации гидрогеологических и водозаборных скважин внесли ученые-исследователи: Воздвиженский Б.И., Куличихин Н.И., Шамшев Ф.А., Башкатов Д.Н., Козловский Е.А., Панков А.В., Квашнин Г.П., Башкатов А.Д., Олоновский Ю.А., Дрягалин Е.Н., Тесля В.Г., Беляков В.М., Третьяк А.Я., Дубровский В.В., Белицкий А.С., Бессонов Н.Д., Новиков Г.П., Шищенко Р.И., Романенко В.А., Драхлис С.Л. и многие другие, как в нашей стране, так и за рубежом.

Проблемами кавитационной регенерации занимались специалисты: Алексеев В.С., Гаврилко В.М., Гребенников В.Т., Коммунар Г.М., Киселев А.Т.,

Вольницкая Э.М., Грикевич Э.А., Меламед Ю.А., Дзоз Н.Н., Ловля С.А., Верстов В.В., Цейтлин М.Г., Сердюк Н.И. и многие другие.

Одним из важнейших мероприятий в процессе эксплуатации скважин на воду является восстановление их дебита. Отложение кольматирующих образований (химических соединений, осадков) приводит к постепенному снижению проницаемости как водоносного коллектора или гравийной обсыпки фильтра, так и самого фильтра. Если период времени между восстановительными мероприятиями (межремонтный период) значителен, то между кольматантом и породой (фильтром) образуются сильные химические связи. Разрушить такой кольматант механическими и даже химическими способами очень сложно. При этом всегда существует опасность повреждения поверхности фильтра и выхода его из строя. Кроме того, необходимость спуска в скважину специальных инструментов и механизмов требует извлечения водоподъемного оборудования. А после проведения регенерации – спуска последнего в скважину. По этой причине представляет значительный интерес группа методов, не требующих для восстановления дебита выполнения монтажно-демонтажных работ и применения специальных реагентов. К этой группе принадлежит метод кавитационной регенерации скважин с приводом от погружного насоса (рис. 1).

Данный метод требует периодической, через короткие промежутки времени (до образования прочного кольматанта) кавитационной обработки скважин. Особенно эффективен данный способ при кавитационной обработке с одновременной откачкой. Поверхность фильтра при кавитационной обработке практически не изнашивается. Напротив, материалы склонные к наклепу упрочняют свои поверхностные слои за счет кавитационных воздействий. Частицы кольматанта сравнительно легко отделяются и удаляются из скважины.

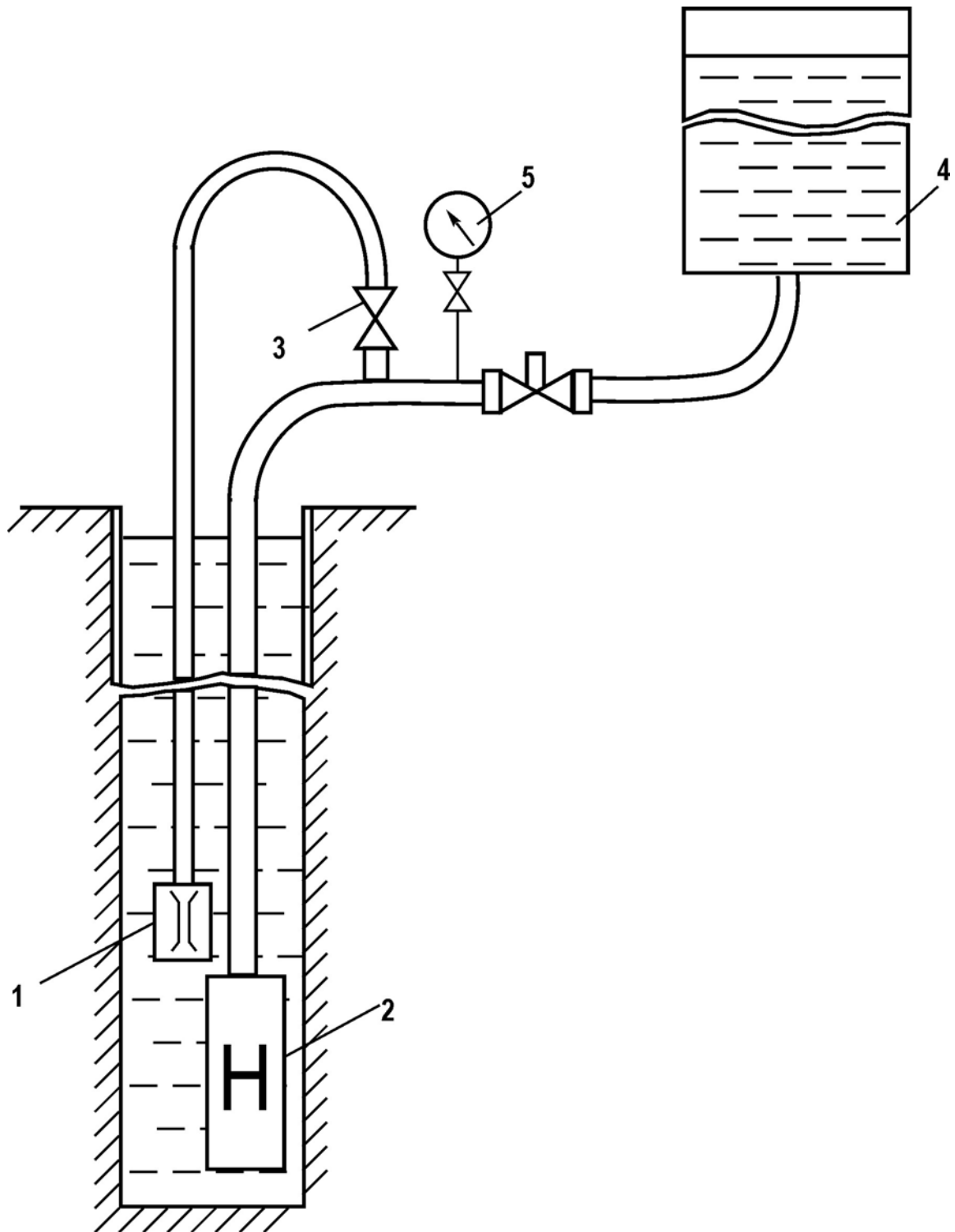


Рис. 1. Схема размещения оборудования и инструмента на поверхности и в скважине для ее обработки вибратором с приводом от погружного насоса (по Меламеду Ю.А. и Киселеву А.Т.)

1-кавитационный генератор; 2-погружной насос;

3-кран; 4-бак; 5-манометр.

Для эффективного использования кавитационной регенерации необходимо разработать технологию этого метода: установить скорость движения воды, обеспечивающую кавитационное восстановление, давление, развиваемое насосом, определить наиболее рациональные места установки кавитаторов и разработать наиболее энергетически выгодную конструкцию кавитатора.

## **ЗАЩИЩАЕМЫЕ НАУЧНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

### **Первое защищаемое научное положение**

**Анализ и систематизация методов восстановления дебита скважин на воду показали, что во многих случаях наиболее эффективными являются профилактические методы, не требующие выполнения монтажно – демонтажных работ с водоподъемным оборудованием.**

Существующая классификация методов регенерации скважин на воду базируется на работах В.М. Гаврилко, В.С. Алексеева, В.Т. Гребенникова. Она учитывает методы, рассчитанные на восстановление только длительно эксплуатировавшихся скважин способами, требующие обязательного извлечения водоподъемного оборудования. Кроме того, существующая классификация не учитывает некоторые импульсные (низкочастотный, вибрационный, ультразвуковой) методы регенерации скважин, а также дискретные методы восстановления как сваби́рование, тартание, пульсирующую прокачку эрлифтом, остановки и пуски погружных насосов. Упущены группы гидростатических и механических (по Г.П. Квашнину) способов. Существующая классификация требует уточнения и обобщения.

Исследования показали, что высокими потенциальными возможностями обладает группа методов регенерации скважин профилактического характера. Разработанная уточненная систематизация, учитывающая профилактические методы регенерации, представлена на рис.2.

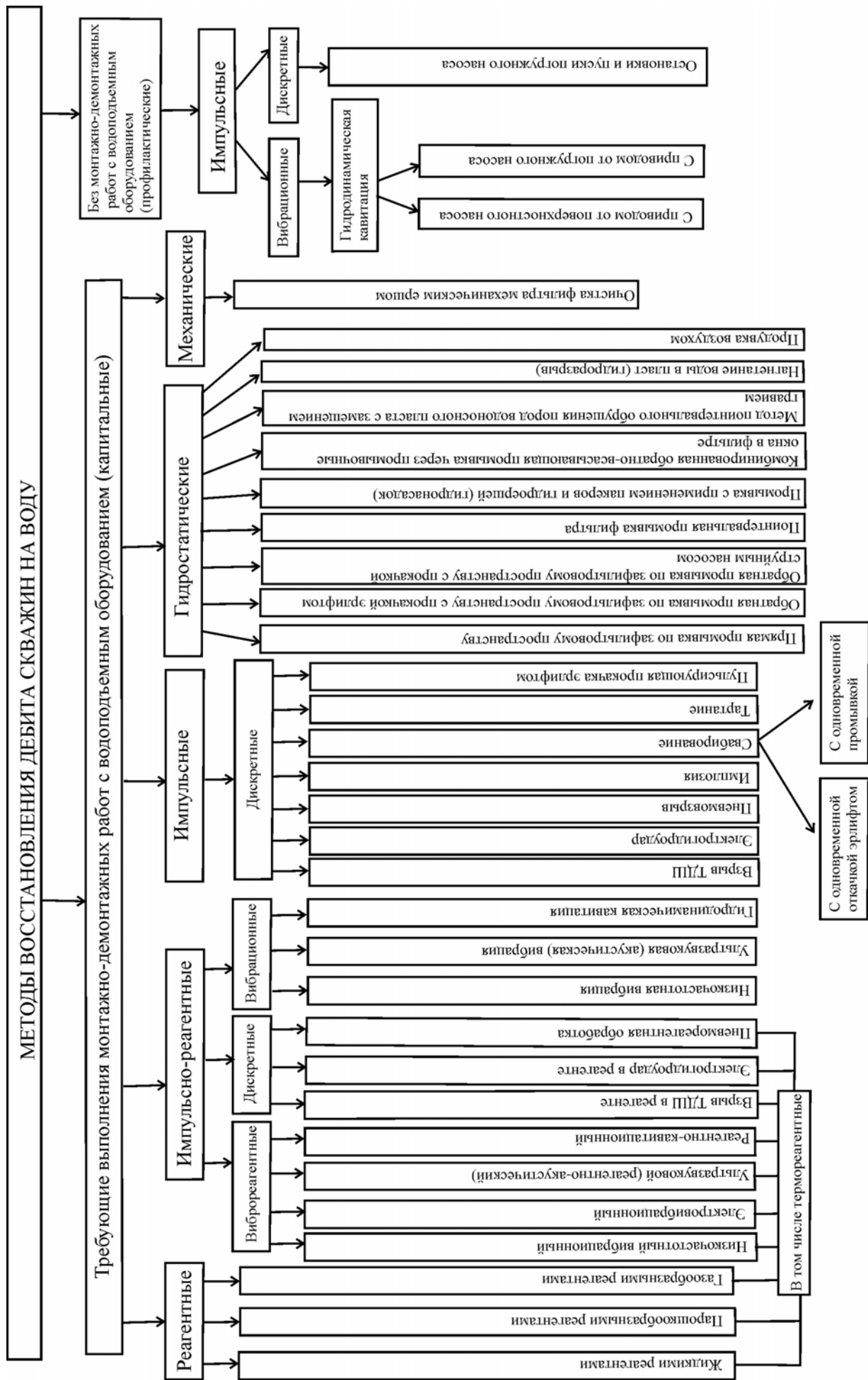


рис.2. Уточненная систематизация методов восстановления дебита скважин на воду

## Второе защищаемое научное положение

**Рекомендуемым критерием оперативного управления явлением кавитационной обработки скважины является скорость течения жидкости в виброгенераторе, определяемая расчетным путем.**

Явление кавитации в потоке жидкости, протекающем сквозь гидродинамический кавитатор, сможет начаться при достижении давления внутри кавитатора, близкого к величине давления насыщенного пара. Достичь этого можно при определенном значении скорости жидкости. Так как кавитационный поток воды внутри кавитатора (рис. 3 и 4) не является сплошной средой, а представляет собой водо-воздушно-паровую систему, то к нему не применимы классические уравнения гидромеханики сплошных сред.

Поэтому ниже будет рассматриваться докавитационный поток воды, имеющий такую предельную скорость, при превышении которой сплошность воды нарушится, начнется ее фазовый переход в парообразное состояние, т.е. первичный этап кавитации.

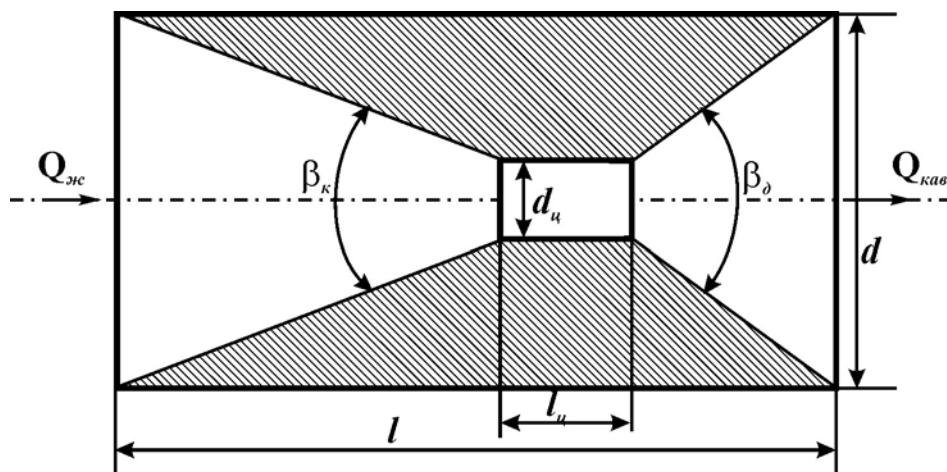


Рис. 3. Генератор кавитационных колебаний жидкости (кавитатор), выполненный в виде местного гидросопротивления.

$\beta_{\kappa}$  – угол сужения конфузорного участка кавитатора;  $\beta_{\delta}$  – угол расширения диффузорного участка кавитатора;  $l_{ц}$  и  $d_{ц}$  – длина и внутренний диаметр цилиндрической камеры соответственно;  $l$  и  $d$  – длина и внешний диаметр кавитатора соответственно;  $Q_{жс}$  и  $Q_{кав}$  – входящий жидкостный и выходящий кавитационный (парожидкостный) потоки.

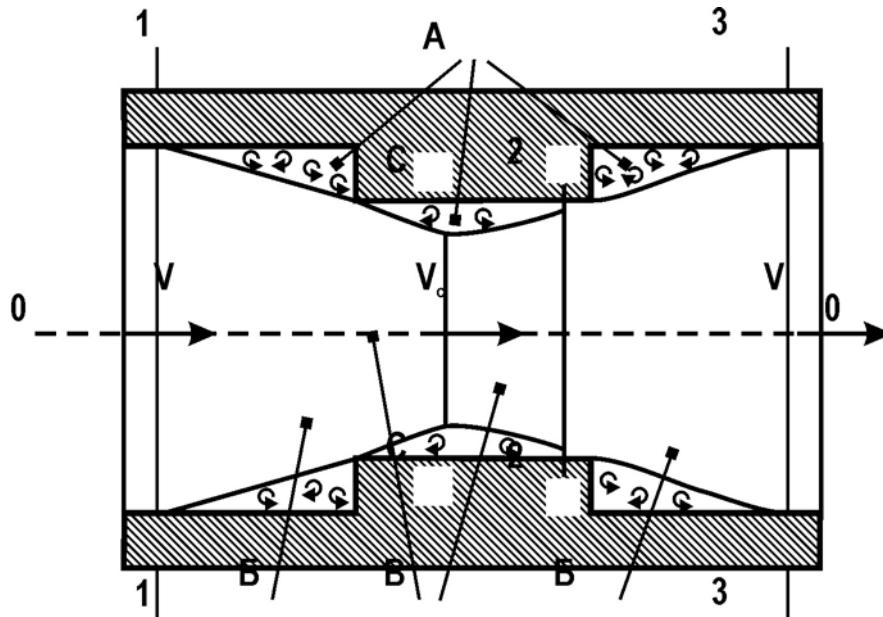


Рис. 4. Расчетная схема течения жидкости в кавитационном генераторе.

А – области вихревых вращений жидкости; Б – транзитная струя жидкости; Б – область пониженного давления; С-С – сжатое сечение потока;  $V$  – средняя скорость жидкости при входе и выходе из кавитатора;  $V_c$  – скорость жидкости в сжатом сечении; 0-0 – плоскость сравнения.

Применяя уравнение Бернулли к докавитационному потоку в обводной магистрали (рис. 5) и усредняя табличные значения величин давления насыщенного пара в зависимости от температуры воды уравнением экспоненциальной регрессии, получим

$$P_H = P_{кл} + \rho g H_H + \left( 4 + \xi_k + (H_k - H_H) \frac{\lambda}{d} \right) \frac{8\rho}{\pi^2 d^4} Q^2, \quad (1)$$

$$V_c = \sqrt{\frac{P_0 + \rho g H_k - 774,8 \cdot e^{0,042t}}{0,095\rho}}; \quad (2)$$

$$Q = V_c \cdot \varepsilon \cdot f_2, \quad (3)$$

где  $P_n$  – давление, развиваемое насосом;

$V_c$  – средняя скорость воды в сжатом сечении;

$Q$  – объемный расход воды;

$t$  – температура воды, °С;

$\varepsilon$  – коэффициент сжатия транзитной струи;

$d_2$  – внутренний диаметр цилиндрической камеры кавитационного генератора;

$\xi_{\kappa}$  – суммарный коэффициент местных сопротивлений в кавитационном генераторе;

$\lambda$  – коэффициент линейных гидросопротивлений;

$d$  – внутренний диаметр обводной магистрали;

$d_6$  – внутренний диаметр водоподъемной магистрали.

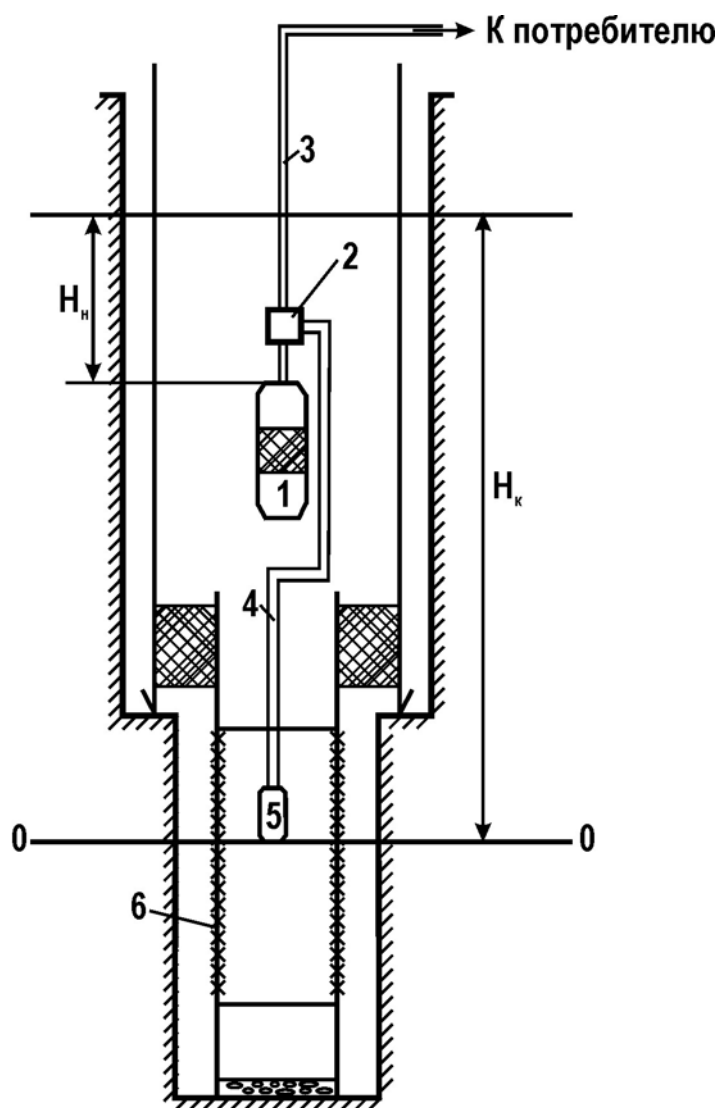


Рис. 5. Расчетная схема кавитационной обработки скважины.

$H_n$  – глубина погружения насоса под динамический уровень ( $H_n > 1$  м);  $H_k$  – глубина погружения кавитатора по динамический уровень; 1 – погружной насос; 2 – электрогидравлический клапан; 3 – водоподъемная колонна; 4 - обводная (подсоединенная параллельно водоподъемной) магистраль; 5 – кавитационный генератор; 6 – фильтр; 0-0 – плоскость сравнения.



В качестве критерия управления явлением кавитации помимо скорости течения рекомендуется (Сердюк Н.И) рассматривать отношение абсолютных давлений при выходе из кавитатора и при входе в него

$$\frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}} = \frac{P_{\text{вх}} - P_{\kappa}}{P_{\text{вх}}} = 1 - \frac{P_{\kappa}}{P_0 + \rho g H_{\kappa} + P_{\kappa}}, \quad (4)$$

где  $P_{\text{вх}}$  – абсолютное давление при входе в кавитатор;

$P_{\text{вых}}$  – абсолютное давление при выходе из кавитатора;

$P_{\kappa}$  – потеря давления в кавитаторе.

Так как в полученном выражении (4) все величины, кроме  $P_{\kappa}$ , постоянны для данных условий, а при постоянной геометрии кавитатора величина  $P_{\kappa}$  зависит только от скорости жидкости  $V_c$ , то критерий управления явлением кавитации  $\frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}}$  справедлив, в том числе, и для скважинных условий, а друг по отношению к другу критерий скорости жидкости и критерий отношения давлений эквивалентны.

$$V_c \leftrightarrow \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}}. \quad (5)$$

Однако установить измерением значения величин  $P_{\text{вх}}$  и  $P_{\text{вых}}$  в условиях реальной скважинной откачки весьма сложно. Поэтому более удобным, рекомендуемым к практическому использованию, является критерий управления явлением кавитационной обработки – скорость течения жидкости в сжатом сечении потока, которая легко определяется расчетным путем.

### **Третье защищаемое научное положение**

**В различных скважинных условиях (напорные, слабонапорные, безнапорные водоносные горизонты, устойчивые и неустойчивые коллекторы) зона ус-**

**тановки виброгенератора должна соответствовать области максимальных фильтрационных течений жидкости.**

Экспериментальным и аналитическим путями исследовались гидродинамические характеристики погружного насоса, обводной магистрали, кавитационного генератора, фильтра и прифильтровой области. На стадии планирования эксперимента определялось необходимое количество опытов, вид фиксирующей и показывающей аппаратуры. После проведения опытов производилась отбраковка неподходящих данных, обработка и первичная оценка полученных результатов. Затем опыты повторялись.

Результаты стендовых и аналитических исследований представлены в таблицах 1 и 2, зависимостями (7) и (8), а также на рис. 6.

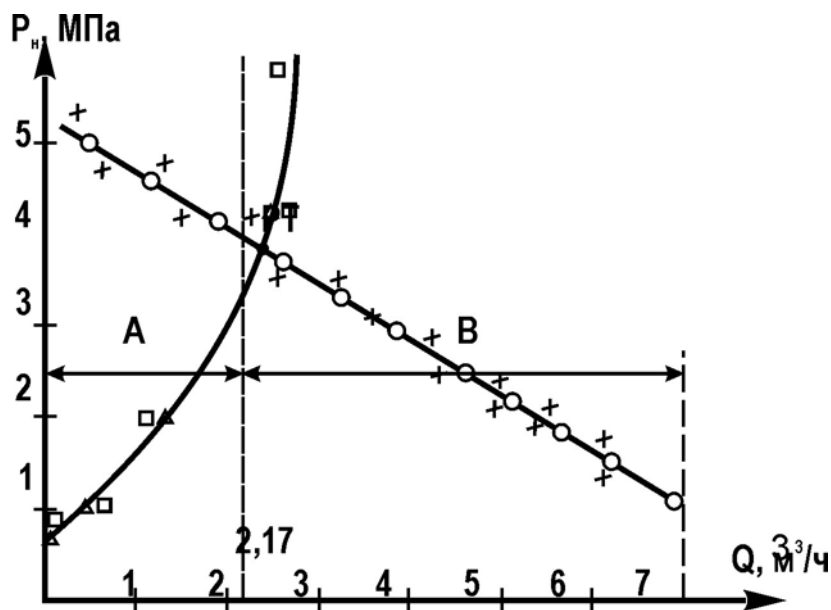


Рис. 6. Напорные характеристики погружного насоса и сети "обводная магистраль – кавитационный генератор".

х – х – опытные значения показателей напорной характеристики насоса;  
 о - о - усредненные опытные значения показателей напорной характеристики насоса по уравнению регрессии; □ - □ – расчетные значения показателей напорной характеристики сети; Δ - Δ - усредненные расчетные значения показателей напорной характеристики сети по уравнению регрессии;  
 РТ – рабочая точка; А – докавитационная область; В – область генерируемой кавитации.

*Экспериментальные значения показателей напорной характеристики погружного насоса марки SP-5A-85 (фирма GRUNDFOS, Германия)*

*Таблица 1*

Объемная подача воды Q, м <sup>3</sup> /ч	6,8	6,6	6,4	6,0	5,6	5,2	4,8	4,0	3,2	2,4	1,6	0,8	0,1
Развиваемое насосом давление P <sub>н</sub> , МПа	1,5	1,6	1,9	2,3	2,7	3,1	3,4	3,9	4,3	4,5	4,8	5,0	5,3

Уравнение регрессии

$$P_n = 6,513 \cdot e^{-0,177Q}, \quad (6)$$

где P<sub>н</sub> – давление, развиваемое погружным насосом, МПа;

Q – объемная подача насоса, м<sup>3</sup>/ч.

*Расчетные значения показателей напорной характеристики сети "обводная магистраль – кавитационный генератор"*

*Таблица 2*

Объемный расход воды Q, м <sup>3</sup> /ч	6,8	6,6	6,4	6,0	5,6	5,2	4,8	3,2	2,4	1,6	0,8	0,1
Потеря давления в сети P <sub>н</sub> , МПа	28,7	27,0	25,5	22,4	19,6	17,0	14,5	6,7	4,0	2,1	0,9	0,5

Уравнение регрессии

$$P_n = 0,716 \cdot e^{0,58Q}, \quad (7)$$

где  $P_n$  – давление в сети, МПа;

$Q$  – расход воды через сеть, м<sup>3</sup>/ч.

Проводившиеся рядом исследователей (А.Д. Башкатовым, В.С. Алексеевым, В.Т. Гребенниковым и др.) экспериментальные измерения и аналитические решения свидетельствуют о переменной скорости (расхода) воды по длине фильтра.

Причем максимум расхода воды приходится на верхнюю часть фильтра. Причиной этого является принятие потоком энергетически наиболее выгодной формы и пути движения (по минимуму гидравлических сопротивлений).

Однако, данные измерения справедливы только для напорных водоносных горизонтов при установке насоса над фильтром. В случае безнапорных горизонтов данные измерения не справедливы. Эпюры распределения расхода по длине фильтра будут иметь иной характер. Изменится при этом и положение рекомендуемой зоны установки виброгенератора.

Решающую роль при этом также место установки источника депрессии – погружного насоса. Базовые технологические схемы установки погружных насосов в зависимости от геолого-гидрогеологических условий приведены на рис. 7. Для каждой схемы построена эпюра расхода воды (исходя из минимума гидравлических сопротивлений фильтрационному потоку).

Степень влияния кольматационных процессов в прифильтровой области на дебит скважины и динамический уровень воды будет максимально проявлять себя в зонах наибольших водопритоков. Именно вблизи этих зон и следует устанавливать кавитационные генераторы. Эффективность их регенерирующего воздействия в этом случае будет наибольшей (рис. 7).

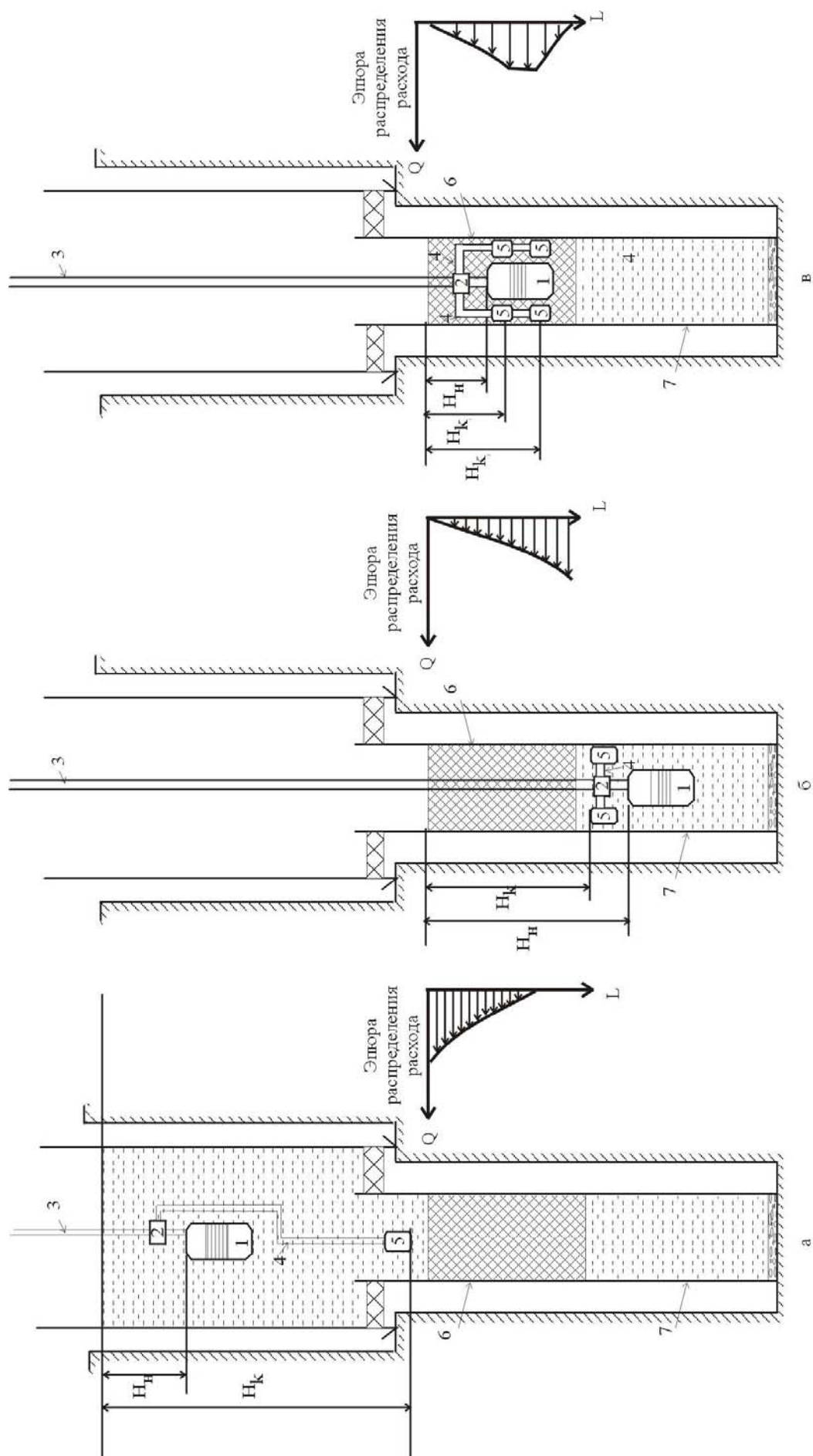


Рис. 7 .Рекомендуемые базовые технологические схемы установки погружных насосов и размещения кавитационных генераторов.

а – напорный водоносный горизонт; б – безнапорный водоносный горизонт; в – безнапорный водоносный горизонт, представленный скальными трещиноватыми горными породами. 1 – погружной насос; 2 – электрогидравлический клапан; 3 - водоподъемная линия; 4 – подводная магистраль; 5 – кавитационный генератор; 6 – фильтр; 7 – отстойник.  $H_n$  – глубина погружения насоса под динамический уровень ( $H_n > 1м$ );  $H_k$  – глубина погружения кавитационного генератора под динамический уровень.

#### Четвертое защищаемое научное положение.

**Центробежный кавитационный генератор позволяет достичь явления кавитационной регенерации скважин при меньших на 10-20% значениях расхода в сравнении с осевым кавитационным генератором.**

Декольматирующее воздействие кавитации может проявлять себя двояко. Во-первых, кавитационные пузырьки могут доставляться сносимым потоком непосредственно к кольматанту, осевшему на поверхность фильтра и в той части прифилтровой области, которая непосредственно примыкает к фильтру. В этом случае отделение кольматанта происходит под воздействием мгновенно конденсирующихся кавитационных пузырьков. Во-вторых, схлопывание пузырьков приводит к вибрации жидкости, в том числе и в более отдаленных областях прифилтровой зоны. Вибрация вызывает хаотические микроперемещения песчаных частиц. Процесс колебания частиц кинематически подобен движению частиц псевдооживленного (кипящего) слоя. При этом частицы интенсивно трутся друг о друга. В результате происходит отделение не успевшего образовать прочные связи с породой кольматанта.

Наиболее высокие результаты регенерации могут быть получены при кавитационной обработке с одновременной откачкой воды. Большая эффективность данной схемы объясняется не только большей депрессией, действующей на водоносный пласт, а, следовательно, и на сам кольматант, но и меньшими сопротивлениями движению вибрирующего под действием кавитации потока.

Для определения закономерностей течения воды в параллельно соединенных магистральных "погружной насос – потребитель" и "погружной насос – кавитационный генератор" (кавитационная обработка с одновременной откачкой) воспользуемся уравнением Бернулли.

$$P_n = P_{кл} + \rho g H_B + \left(1 + H_B \frac{\lambda}{d_B}\right) \frac{8\rho}{\pi^2 d_B^4} \times Q_1^2; \quad (8)$$

$$Q = Q_2 + \sqrt{\frac{\left(4 + \xi_k + (H_k - H_n) \frac{\lambda}{d_B}\right) \frac{8\rho}{\pi^4 d^4} \times Q_2^2 - \rho g (H_B - H_n)}{\left(1 + H_B \frac{\lambda}{d_B}\right) \frac{8\rho}{\pi^2 d_B^4}}}; \quad (9)$$

$$Q_2 = V_c \varepsilon \frac{\pi d_2^2}{4}, \quad (10)$$

где  $Q_1$  – объемный расход воды в магистрали "погружной насос – потребитель";

$Q_2$  – объемный расход воды в магистрали "погружной насос – кавитационный генератор".

Чем выше будет абсолютная скорость жидкости в сжатом сечении кавитатора, тем меньше давление в нем. Увеличить скорость можно путем закручивания потока. Течение в этом случае будет поступательно-вращательным. Такой вид течения можно реализовать в кавитационном генераторе центробежного типа (рис. 8).

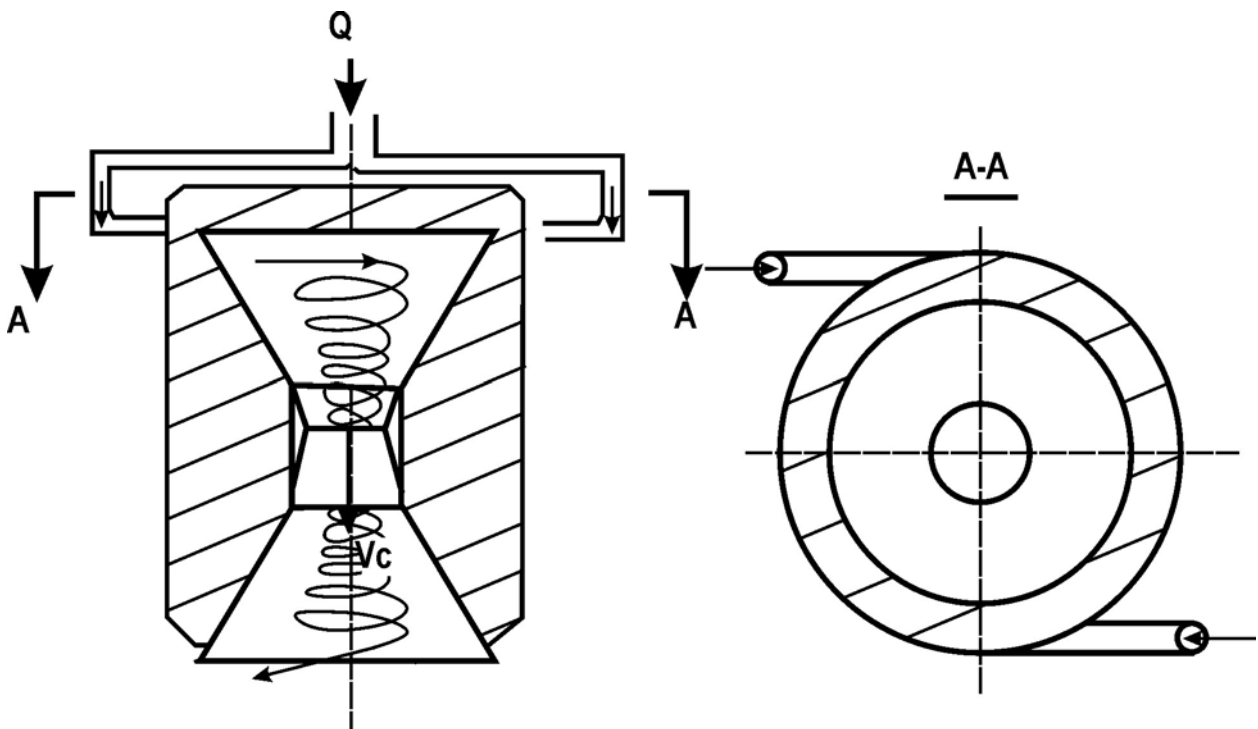


Рис. 8. Центробежный кавитационный генератор

Для потока внутри центробежного кавитатора справедлив закон сохранения момента скорости

$$V_{0r} r = \omega_r r^2 = idem, \quad (11)$$

где  $V_{0r}$  – окружная скорость жидкости на расстоянии  $r$  от кавитатора;

$\omega_r$  – угловая скорость жидкости на расстоянии  $r$  от кавитатора.

$$V_a = \sqrt{V_c^2 + V_{oc}^2}; \quad (12)$$

$$V_a = \sqrt{\frac{P_o + \rho g H_k - 774,8 \times e^{0,042t}}{0,095 \rho}}; \quad (13)$$

$$Q_2 = 0,25 \frac{\varepsilon \rho d_2^2 d}{\sqrt{d^2 + \varepsilon d_2^2}} V_a \quad (14)$$

где  $Q_2$  – объемный расход воды в обводной магистрали.

Проведенные расчеты и макетные испытания центробежного кавитатора показывают, что явление кавитации при его использовании достигается при меньших на 10-20% значениях расхода воды.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Апробированные на производстве технологические схемы кавитационной регенерации обеспечивают эффективное восстановление дебита скважин.
2. Место установки кавитационного генератора должно соответствовать зоне максимальных фильтраций воды, т.к. именно эта зона наиболее чувствительна к изменению дебита при кольматации.
3. Управлять кавитационной обработкой скважины следует либо по критерию «скорость жидкости в кавитаторе, либо по критерию отношения давлений на выходе и входе в кавитационный генератор. Установлено, что эти критерии эквивалентны друг по отношению к другу.
4. В напорном водном горизонте кавитационный генератор должен устанавливаться в верхней части фильтра, в безнапорном – в нижней (при размещении насоса в отстойнике), либо центральной (если насос установлен в фильтре) части фильтра.
5. Наиболее подходящей для кавитационной регенерации скважин является центробежная конструкция гидродинамического кавитационного генератора, т.к она вызывает меньшие значения гидросопротивлений.



### **Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

1. Восстановление дебита водозаборных скважин в процессе их эксплуатации // Материалы VII Международной научно-практической конференции: Наука и новейшие технологии при освоении месторождений полезных ископаемых. –М.: МГГРУ, 2005. – С. 294 / соавторы Сердюк Н.И., Хромин Е.Д.
2. Оптимизация процессов при комплексном водоснабжении объектов // Автоматизация и современные технологии. -2005, №1. – С. 41-43 / соавторы Гуляк С.В., Осика И.В. и др.
3. Опыт применения видеокаротажа при проведении геофизических работ в разведочно-эксплуатационных скважинах на воду. – Материалы четвертой Международной научно-практической конференции "Наука и новейшие технологии при освоении месторождений полезных ископаемых". Часть 1. – М.: МГГРУ, 2004, с. 48. /соавтры Тунгусов А.А., Сауков И.В., Лысов М.Г.
4. Особенности применения гидроэлеваторов для подъема жидкости с большой глубины. – Материалы VI Международной конференции "Новые идеи в науках о Земле". Том 4. – М.: МГГРУ, 2003, с. 25 / соавторы Кравченко А.Е., Сердюк Н.И., Минаков С.И.
5. Перспективы применения современных технологий горизонтального направленного бурения в РФ. – Материалы четвертой Международной научно-технической конференции "Наука и новейшие технологии при освоении месторождений полезных ископаемых". Часть 1. – М.: МГГРУ, 2004, с. 53 / соавторы Манчуков В.Г., Сердюк Н.И., Ганин И.П.
6. Перспективы применения технологий поршневого (свабироваия) для восстановления продуктивности водозаборных скважин. – Материалы VI Международной конференции "Новые идеи в науках о Земле". Том 4. – М.: МГГРУ, 2003, с.25. / соавторы Сердюк Н.И., Минаков С.И.
7. Применение импульсно-депресссионных воздействий с целью восстановления дебита водозаборных скважин. – Материалы VI Международной конференции "Новые идеи в науках о Земле". Том 4. – М.: МГГРУ, 2003, с. 19 / соавторы Минаков С.И., Сердюк Н.И.

8. Применение кавитационной эрозии при бурении скважин. – Геология и разведка, 2004, № 4, с. 54-56 / соавторы Куликов В.В., Минаков С.И., Сердюк Н.И.
9. Проблемы качества поверхностных вод и механизмы экологического контроля // Экологические приборы и системы. -2005, №4. – С. 24-26 / соавторы Гуляк С.В., Осика И.В. и др.
10. Расчетная оценка условий очистки ствола скважины от шлама. – Геология и разведка, 2004, № 1, с. 65-66 / соавторы Минаков С.И., Куликов В.В., Сердюк Н.И.
11. Технология проектирования разведочно-эксплуатационных скважин на воду: Учебное пособие. – М.: МГГРУ, 2003, 60 с. / соавторы Сердюк Н.И., Кравченко А.Е., Куликов В.В. и др.
12. Бурение скважин различного назначения: Учеб. пособие. // Сердюк Н.И., Куликов В.В., Тунгусов А.А., и др. Под ред. д.т.н. Н.И. Сердюка. – М.: РГГРУ, 2006. -624с.
13. Техничко-экономическая эффективность способов декольматажа прифилтровой зоны буровых скважин. – Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море, 2005, №10. /соавторы Шибанов Б.В. и др.

**- патенты:**

14. Стенд для исследования разрушающего действия кавитации в призабойной зоне скважины. Положительное решение ФИПС о выдаче патента на полезную модель № 2005105837/22. Приоритет от 03.03.2005г. Сердюк Н.И., Шибанов Б.В., Кравченко А.Е., Бебенин В.Ю., Сауков И.В., Минаков С.И.
15. Устройство для подвески и герметизации потайной обсадной колонны. Положительное решение ФИПС о выдаче патента на изобретение № 2005101701/03. Приоритет от 26.01.2005г. Сердюк Н.И., Кравченко А.Е., Бебенин В.Ю., Минаков С.И., Шибанов Б.В., Черкасов В.И.
16. Устройство для бурения скважин в неустойчивых и разрушенных горных породах с одновременной обсадкой. Положительное решение ФИПС о выдаче патента на изобретение № 2004125530/03. Приоритет от 24.08.2004г. Сердюк Н.И., Бебенин В.Ю., Кравченко А.Е., Черкасов В.И., Шибанов Б.В.