

УДК 622.248.4 (088.8)

Докт. техн. наук ШЕВЧЕНКО Ф.Л., канд. техн. наук ПЕТТИК Ю.В.,  
канд. техн. наук УЛИТИН Г.М.

Донецкий государственный технический университет, г. Донецк, Украина

## ЛОВИЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙ ПРИ ПРОХОДКЕ СКВАЖИН БУРОВЫМИ УСТАНОВКАМИ

Современное горное оборудование позволяет проходить стволы и скважины больших диаметров непосредственным бурением вертикальных выработок различного назначения. Для этого широко используются буровые установки роторного типа. Основные элементы буровой установки показаны на рис. 1

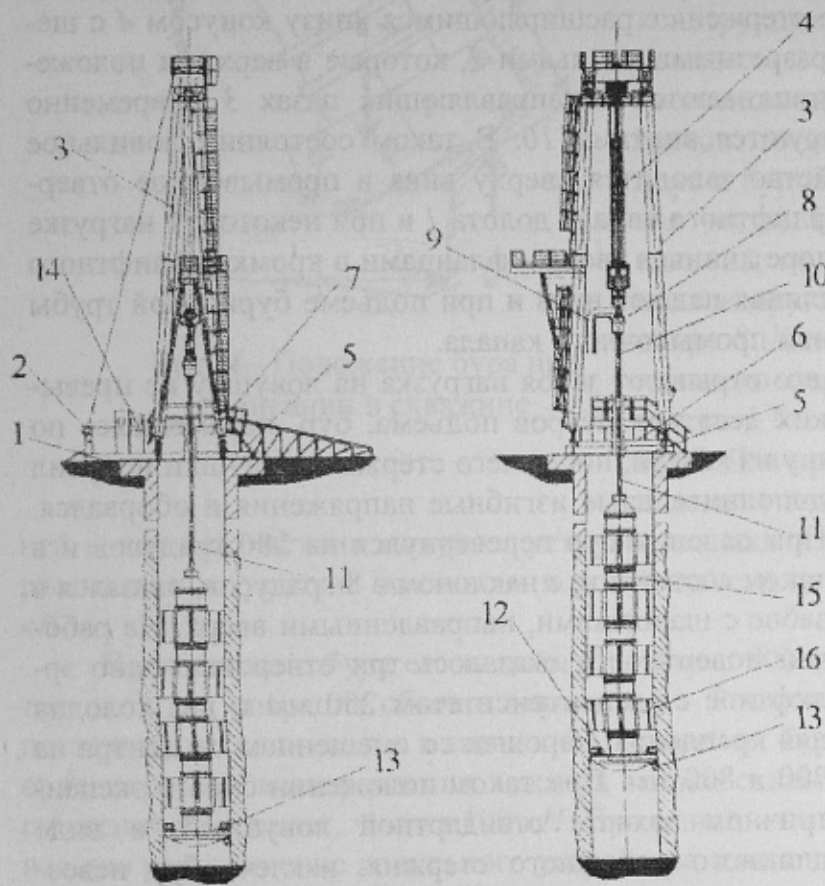


Рис. 1 – Основные элементы буровой установки  
L – 35 МР

Установка состоит из подъемного механизма на отдельной платформе включающего трехосное прицепное шасси 1, на котором установлена буровая лебедка 2 с гидравлическим приводом; вспомогательной двухскоростной лебедки; Л-образной буровой вышки 3 высотой 22 м грузоподъемностью 340 т с талевой оснасткой 4; вышки, закрепленной на металлическом основании 5, внутри которой расположены раздвижные платформы 6, перекрывающие устье ствола; ротора 7, имеющего проходное отверстие 2110 мм с четырьмя гидромоторами; вертлюга 8 с проходным отверстием 330 мм к которому подсоединены два шланга 9 диаметром 330 мм; квадратной ведущей трубы 10 с внутренним отверстием 330 мм; бурильных труб 11 с внутренним диаметром 330 мм и фланцевыми соединениями; комплекта буров 12 диаметрами 2,6 м; 3,2 м; 3,95 м; 4,0 м; 4,7 м; 5,4 м с шарошками 13;

двух компрессоров подачи по 24 м<sup>3</sup>/мин. Пульт управления установкой со всеми необходимыми приборами контроля расположен в удобной кабине 14.

С помощью бурильных труб 11 режущий инструмент (бур) 12 с утяжелителями 15 при помощи талевой системы 4 опускается на забой. При этом бурильная труба и болты, соединяющие отдельные секции труб, испытывают растяжение. В рабочем состоянии, когда режущий инструмент работает на забое, бурильная труба, вращающая инструмент с дополнительным грузом утяжелителей, испытывает на некотором участке сжатие, кручение и изгиб. Вследствие такого сложного напряженно-деформированного состояния появляются усталостные напряжения и возможно разрушение болтовых соединений секций труб или труб в местах соединения их с фланцами. Нередки случаи обрыва бурового ин-

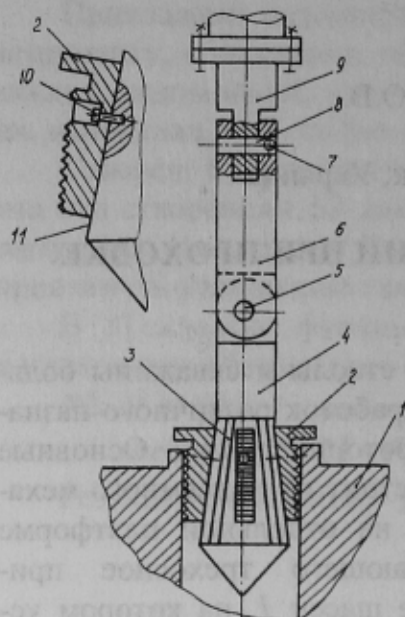


Рис. 2 - Клиновая шарнирная ловушка

канала винты крепления срезаются, клинья падают вниз и при подъеме бурильной трубы конусом 11 распирают ловушку в стенки промывочного канала.

После захвата бура и в момент его отрыва от забоя нагрузка на ловушку не превышала 600 кН. Однако после нескольких десятков метров подъема, бур, перемещаясь по лежащей стенке скважины, вошел в одну из каверн, после чего стержень ловушки получил

дополнительные изгибные напряжения и оборвался. При падении бур перевернулся на 180 градусов и в таком состоянии, с наклоном в 8 градусов, оказался в забое с шарошками, направленными вверх. На рабочей поверхности оказалось три отверстия: одно эрлифтное с эксцентриситетом 250 мм и два колодца для крепления шарошек со смещением от центра на 700 и 800 мм. При таком положении бура и эксцентричном захвате стандартной ловушкой, в виде длинного сплошного стержня, извлечь бур невозможно из-за больших изгибных напряжений. Поэтому стандартная ловушка подверглась модернизации, при этом в стержне ловушки установили два взаимно перпендикулярных шарнира 5 и 8, которые образовали своеобразный шарнир Гука (рис. 2). Но и эта конструкция не предотвратила поломку стержня (на участке 4 между конусом 11 и нижним шарниром 5) при очередной попытке подъема оборванного долота при нагрузке 800 кН.

Поверхность бура была повторно обследована при помощи зонда диаметром 273 мм, который показал наличие отверстия глубиной примерно 0,7 м. С равной степенью вероятности, это могли быть и эрлифтный канал с находящейся в нем частью ловильного приспособления и колодцы для крепления ша-

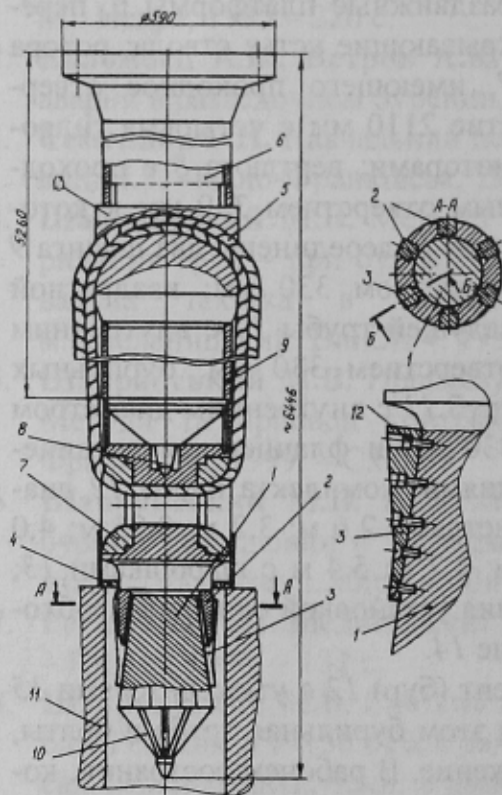


Рис. 3 - Клиновая ловушка на канатной подвеске



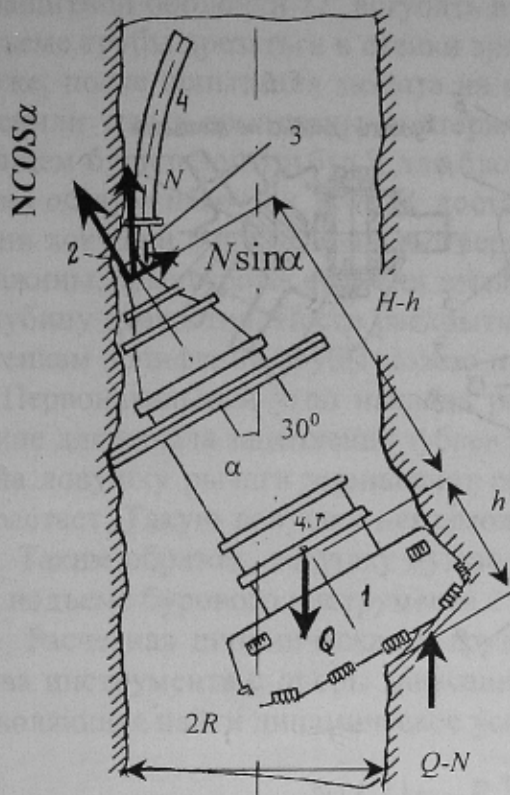


Рис. 4 - Положение бура при зависании в скважине

рошкодержателей. Установить это под 800-метровым слоем промывочной жидкости было практически невозможно.

Следующее ловильное приспособление (рис. 3) было изготовлено по тому же принципу - центральный стержень с конической поверхностью имел 6 независимых клиньев. Сечение всех элементов было увеличено, а взамен шарнира Гука соединение устройства с бурильной колонной 6 было осуществлено с помощью петли из каната 5 диаметром 42 мм. Принципиальная схема крепления изображена на рис. 3. Особенность нового ловильного устройства являлось то, что конструкция ловушки, для облегчения ее ввода конической частью 10 в отверстие долота 11, расположенное под углом к вертикальной оси, состоит из двух частей: верхней части 13 (соединена с буровой колонной 6) и нижней 1 (захватная часть). Причем верхняя и нижняя части соединены между собой при помощи каната 5 и контактируют между собой через поворотную опору 8. Для снятия концентрации напряжений и плавного перегиба каната в верхней части ловушки 1 были вставлены торообразные проушины 7. Для придания жесткости всей конструкции в момент поиска отверстия бура 11, между верх-

ней и нижней частями ловушки установлена цилиндрическая оболочка 9, которая была рассчитана из условия жесткости и устойчивости до осевых нагрузок порядка 150...200 кН.

После захвата бура его подъем с глубины 800 м до 252 м продолжался более 10 суток, хотя эта операция обычно занимает 6 - 8 часов. Из-за эксцентричной подвески бур постоянно расклинивался в скважине. Поворотом бурильной колонны его верхнюю часть ориентировали в направлении лежачей стенки скважины и делали расходку, не допуская снижения веса более, чем на 100 кН. При одной из таких операций на глубине 252 м произошло разъединение ловильного устройства и падение бура на забой из-за потери клиньев ловушки.

Бур снова оказался на забое в перевернутом и наклонном состоянии.

Чтобы устранить трение и задержки бура о стенки скважины было решено разбурить скважину большего диаметра. При проведении работ по разбуриванию скважины в мае 1999 г. второй бур вместе с утяжелителем массой 90 тонн оборвался и при падении задержался в стволе на глубине 486 м с перекосом в 25 - 30° (рис. 4, где 1- бур, 2- отверстие эрлифтного трубопровода, 3-ловильное приспособление, 4-бурильная труба). Извлечь этот бур стандартной ловушкой было невозможно, так как в промывочное отверстие у стенки ствола нельзя ее запустить, так как ось отверстия находилась под углом, а сверху выступал козырек. Проектно-конструкторские работы по разработке новых ловильных устройств для подъема бура стали проводить в двух направлениях: первое - модернизация клиновой ловушки и второе - разработка принципиально нового ловильного устройства. Ловушки должны быть минимальных габаритных размеров, которые позволяли бы заходить в наклонное промывочное отверстие и выдерживать большие нагрузки, исключая значительные изгибные напряжения.

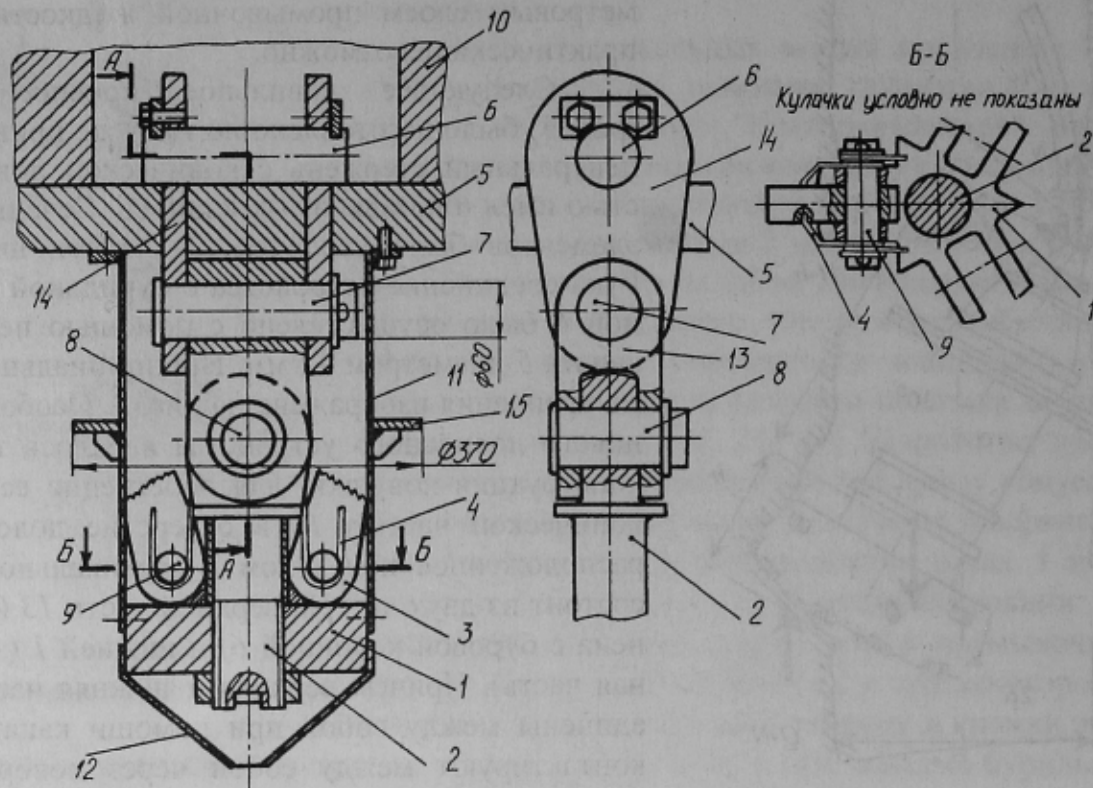


Рис. 5 – Трехкулачковая распорная ловушка

Для того чтобы в период захвата и расхаживания бура при его подъеме снова не произошла потеря клиньев 2 и срыв бура была проведена модернизация клиновой ловушки. В новом варианте (рис. 3.) предусматривалось, что клинья будут перемещаться по направляющим 3, которые имеют пазы для контакта с выступающей частью клиньев. При этом направляющие прикреплены к конической части ловушки 1 при помощи винтов 12. В свою очередь, при поиске отверстия и вхождении в него, клинья фиксируются в верхней, конической части ловушки с помощью охватывающей цилиндрической оболочки, которая прикреплена к охватываемому упорному фланцу 4. При взаимодействии упорного фланца с торцом отверстия бура оболочка раскрывается, и клинья освобождаются, при этом они могут независимо друг от друга двигаться вниз. Ход клиньев ограничен упорами, выполненными в нижней части ловушки, что обеспечивает надежную фиксацию клиньев в нижнем положении и невозможность их потери при ловильных работах. Не смотря на это, при ловильных работах, указанной ловушкой, не удалось захватить бур. При одной из попыток войти в отверстие бура одна из направляющих была сорвана, при этом было потеряно два клина. Как в дальнейшем оказалось, нагрузка на ловушку при поисковых работах превысила допустимую, что и привело к срезу винтов 12 и потере клиньев.

Второе принципиально новое устройство было в месячный срок разработано и изготовлено на НРМЗ ГХК "Спецшахтобурение" (рис. 5) [1,2]. На грузонесущем болту 2 диаметром 75 мм с шарниром Гука 7-8 смонтирована опорная плита 1 диаметром 260 мм и толщиной 80 мм, на которой установлен петлевой блок с тремя распорными рычагами 3 длиной 90 мм и сечением 40x70 мм. В сложенном состоянии рычаги находятся внутри цилиндрической оболочки 11 и не мешают вхождению ловушки в отверстие бура. После вхождения ловушки в промывочное отверстие фланец 15 оболочки корпуса ловушки упирался в кромки отверстия бура и при небольшой нагрузке точечная сварка крепления оболочки срезалась. Это позволяло рычагам при дальнейшем опускании ловушки выходить



из защитной оболочки 11, вступать в контакт со стенками промывочного отверстия и при подъеме трубы врезаться в стенки эрлифтного канала, обеспечивая необходимый контакт. Позже, после испытания захвата на площадке на аналогичном буре, защитную оболочку заменили тремя арматурными стержнями, временно соединяющими опорную плиту 1 с фланцем бурильной трубы 5, для блокировки шарнира Гука. Эти стержни были рассчитаны на осевую нагрузку 300 кН, достаточную для поиска отверстия ловушкой. При вхождении ловушки в промывочное отверстие, когда она может перемещаться под углом к оси скважины, арматурные стержни изгибаются и не мешают свободному движению ловушки в глубину отверстия. После раскрытия распорных рычагов 3 и их прижатия пружинами 4 к стенкам эрлифтной трубы можно прикладывать к захвату необходимую осевую нагрузку. Первоначальный угол наклона рычагов не превышал 15°, обеспечивая необходимое трение для начала зацепления зубьев рычагов о стенки отверстия. При увеличении нагрузки на ловушку рычаги уменьшают свой наклон, а осевое усилие на рычаги значительно возрастает. Такую ловушку невозможно вырвать из промывочной трубы без ее разрушения. Таким образом, ловушку нужно было рассчитать на максимально возможное усилие при подъеме бурового инструмента с учетом его веса и динамических нагрузок.

Расчетная динамическая нагрузка на ловильное устройство находилась из условия срыва инструмента с опоры зависания. При этом использовалась волновая теория удара, позволяющая найти динамическое усилие в несущем стержне захвата [3]

$$N(l, t) = -P \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\lambda} \frac{\sin 2\lambda}{1 + \xi \sin^2 \lambda} \cos \omega t, \quad \lambda = kl,$$

где  $\xi = M / ml$  - отношение массы бурового инструмента к массе отвеса бурильной трубы;  $\omega = kc$  - спектр частот собственных колебаний при скорости волны деформаций;  $c \approx 5000$  м/с; волновые числа  $k$  вычисляются из трансцендентного уравнения  $\xi \lambda \cdot \operatorname{tg} \lambda = 1$ .

С учетом веса инструмента и динамических усилий  $N$ , т.е. на нагрузку 1200 кН с коэффициентом запаса прочности  $k_d = 1,85$  из стали 40ХН была изготовлена ловушка массой около 50 кг, позволившая с первой попытки в конце августа 1999 г. извлечь зависший бур массой более 100 тонн (с учетом дополнительной породы) на поверхность.

Затем началась подготовка к извлечению нижнего буре массой 60 тонн со дна скважины. Примерно на 10 м он был засыпан породой, которую извлекли эрлифтной промывкой с предварительным ее разрушением при помощи уже извлеченного бурового инструмента. Сложность подъема нижнего буре обуславливалась тем, что он был погружен в разрыхленную породу, препятствующую проникновению окружающей жидкости, а, следовательно, устранялась архимедова сила. После захвата нижнего буре вышеупомянутой ловушкой бур выдерживали под нагрузкой в 1300 кН в течение четырех суток, это позволило проникнуть окружающей жидкости под бур и создать подпор снизу. Бур был поднят до отметки 200 м ниже уровня земли и при входе в песчаник, где возникло дополнительное трение буре о стенки скважины, бур снова оборвался, так как диаметр эрлифтного отверстия был несколько больше расчетного, и рычаги захвата прорезали опорный лист буре. Но после этого, уже стандартной ловушкой, бур был, все же извлечен на поверхность в феврале 2000 г. Это промышленное испытание разработанного трехраспорного захвата подтвердило его высокую надежность. Его можно повторно использовать для подъема бурового инструмента, но длину рычагов нужно изготавливать в соответствии с конкретным диаметром отверстия для запуска ловушки.

Заметим, что за последние 50 лет бурения вертикальных скважин в странах СНГ и за рубежом это была одна из сложнейших аварий. Все решения персонала по ликвидации аварии принимались на основании предположений о возможном состоянии бурового агре-

гата, находящегося на глубине 800 м в промывочной жидкости. Кроме того, при расположении бурового агрегата, как показано на рис. 4, он был практически недоступен для захвата его любым стандартным ловильным устройством, которое заводится в промывочный канал, т.к. верхняя часть бура находилась в каверне за пределами отвесной линии стенки скважины. Варианты подъема, путем затяжки бура канатной петлей, полукруглыми захватами и др. также не могли быть осуществлены, т.к. между агрегатом и стенками скважины не было никаких зазоров. Только принципиально новое высокоэффективное ловильное устройство, которое необходимо было разработать, могло быть заведено в отверстие бура, расположенное за пределами отвесной линии стенки скважины. Кроме того, в этом устройстве полностью исключались изгибные напряжения, что значительно повышало его грузонесущую способность, а надежность захвата обеспечивалась распором рычагов, стремительно возрастающую при увеличении нагрузки на ловильное устройство.

### **Библиографический список**

1. **Разработка** ловильного устройства для ликвидации аварий при проходке вертикальных скважин / Шевченко Ф.Л., Петтик Ю.В., Улитин Г.М. и др. // Известия Донецкого горного института: Всеукраинский научно-технический журнал горного профиля. - Донецк: ДонГТУ, №1, 2000. - С.101-105.
2. **Устранение** аварий при проходке стволов буровой установкой системы "WIRTH" / Шевченко Ф.Л., Петтик Ю.В., Улитин Г.М. и др // Известия Донецкого горного института: Всеукраинский научно-технический журнал горного профиля - Донецк: ДонГТУ, №1, 2000. - С.101 – 105.
3. **Шевченко Ф.Л.** Будівельна механіка. Спеціальний курс. Динаміка пружних стержневих систем. – Донецьк: РІА ДонДТУ, 2000. -293 с.

© Шевченко Ф.Л., Петтик Ю.В., Улитин Г.М., 2001

УДК 622.24.085.5

Инж. ЮШКОВ И.А.

Донецкий государственный технический университет, г. Донецк, Украина

## **МЕТОД ПОИНТЕРВАЛЬНОГО БУРЕНИЯ ПОДВОДНЫХ СКВАЖИН ПОГРУЖНОЙ ПРОБООТБОРНОЙ УСТАНОВКОЙ**

В Донецком государственном техническом университете осуществляется разработка универсального комплекса бурового оборудования, предназначенного для бурения инженерно-геологических и разведочных скважин глубиной до 15-20 м в шельфовой зоне морей [7, 8].

Комплекс разработан для эксплуатации с малотоннажных буровых судов. Спускаемая на канате с помощью грузовой стрелы буровая установка представляет собой погружной снаряд, стабилизирующийся на дне с помощью складной опорной рамы. Базовый вариант установки предусматривает использование в качестве погружателя гидроударного механизма. Конструкция также позволяет оснащать буровой узлами для вдавливания или забивания колонкового набора.

Буровой снаряд функционирует в полуавтоматическом режиме, осуществляя последовательно сначала бескерновое гидромониторное бурение с углублением под весом снаряда, затем колонковое бурение или работу геофизического оборудования. Длина бескернового интервала бурения варьируется в любых пределах, ограниченных лишь возможностью размыва грунта. Переключение режимов работы осуществляется узлом распределе-