

ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ

ДАВЛЕНИЕ И СИЛА ДАВЛЕНИЯ. ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ ГИДРОСИСТЕМ

ТЕХНИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

ВВЕДЕНИЕ

Десятилетиями считалось, что чем выше давление гидравлической системы спасательного оборудования, тем выше его производительность и прочность. Однако, верно совсем обратное.

В данном техническом документе описаны принципы работы гидравлических систем, причины, по которым в спасательном оборудовании применяются эти системы, а также какое воздействие оказывает давление в ходе спасательных операций. Далее будет наглядно продемонстрировано, что спасательные инструменты низкого давления с гидравлическим приводом более безопасны и просты в обращении. К тому же, они так же прочны, как и любые аналогичные инструменты высокого давления.

Для тех, кого интересует техническая сторона вопроса (формулы и пояснения), то вся необходимая информация приведена в приложениях. В то же время, мы уверены в том, что материалы, предложенных в данном техническом документе, будут просты для понимания, а также, что их будет достаточно для работы.

В настоящем виде этот документ мы можем предложить вам благодаря сотрудникам Дельфтского технического университета, одного из самых престижных технических университетов в Нидерландах, а также Джека Кастерса. Джек является высококвалифицированным пожарником в отставке, а также изобретателем методики Кастерса; он также является генеральным директором компании «Provectus Academy & Provectus Technics», ведущего голландского учебно-консалтингового центра для пожарных команд и спасотрядов.

RESQTEC Zumro
22 октября 2012

TNO innovation
for life

Один из основных уроков, которые должен выучить спасатель, гласит следующее: 'любым способом придать устойчивость для предотвращения возникновения неуправляемого движения'. Зачем? Человек, которого придавило, может страдать от внутреннего кровотечения, у него может также быть сломан позвоночник. Так это или нет, может сказать только сотрудник службы скорой помощи. Спасателей учат обеспечивать полную безопасность пострадавшему человеку, в ходе спасательной операции его не должны задеть поднимаемые объекты. Любое движение объекта может причинить боль пострадавшему, а также травмы, последствия которых могут быть еще более серьезными, чем от самой аварии.

Чтобы избежать потери контроля над объектами, сотрудники аварийно-спасательных бригад используют опорные блоки, а также другие виды инструментов для придания устойчивости. Санитары в этих целях используют специальные щиты-носилки и шейные бандажы. У всех этих различных видов устройств одно - единственное назначение: 'обеспечить пострадавшему человеку неподвижность и сохранность от любого рода дополнительных травм'.

ДАВАЙТЕ ВКРАТЦЕ РАССМОТРИМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ШАГОВ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНОЙ ОПЕРАЦИИ:

1. Прежде всего, примите меры по охране места происшествия, чтобы снизить не допустить других травм (например, отметка места происшествия маркерами или световыми сигналами (не рекомендуется при протекании горячего), осветительными приборами). Также одной из основных задач спасателя заключается в предотвращении возникновения пожара (тушение пожара при его возникновении, отведение транспортных средств на безопасное расстояние, отсоединение аккумуляторных батарей, покрытие слоем абсорбирующего порошка бензиновых и нефтяных луж, использование огнетушителей и пожарных шлангов);
2. Квалифицированные сотрудники аварийно-спасательных бригад оказывают первую медицинскую помощь и устанавливают тяжесть полученных травм;
3. Для придания устойчивости транспортным средствам используются опорные устройства; с их помощью предотвращают потери контроля над объектами (например: падение в кювет, движение подвески), ведь одно из этих неуправляемых движений может послужить причиной травмы или увечья как для пострадавшего, так и для спасателя. Транспортное средство ни в коем случае двигать не рекомендуется, наоборот - его необходимо сделать как можно более устойчивым.
4. Открытие прохода в транспорт (если нельзя открыть дверь, можно разбить окно), для группы быстрого реагирования, в том числе медперсонала, чтобы лучше оценить состояние пострадавшего и оказания ему первой медицинской помощи, а также чтобы сделать все возможное для нейтрализации последствий аварии;
5. Демонтаж некоторых частей автомобиля (как правило, это крыша или дверь) для обеспечения безопасного освобождения пострадавшего (эвакуация); в особенности это касается осторожной транспортировки для сохранения в покое шейных позвонков и всего позвоночника (позвоночник должен быть ровным);
6. Освобождение человека из транспорта, транспортировка для оказания дальнейшей медпомощи (эвакуация).

Заметка: В менее сложных случаях возможно провести эвакуацию пострадавших, не разрушая транспорт, например через боковые двери или другие части автомобиля.

В сущности, спасательные операции заключаются только в спасении человеческих жизней без нанесения пострадавшему других травм. Спасатели четко понимают предназначение спасательных операций. Обеспечить устойчивость транспорта и не допустить потери контроля над объектами.

Остается вопрос: почему при разработке оборудования для спасательных операций такие важные замечания игнорируются? Несомненно, для эвакуации людей используются весьма тяжелые и эффективные инструменты. С помощью этих инструментов к объектам прикладывается определенная сила, в результате чего эти объекты меняют свое месторасположение в пространстве. Вспомните маятник Ньютона. Один инерционный шарик отклоняют и отпускают, он ударяет по другому шару, этот шарик передает импульс другому, и последний шарик начинает движение, в то время как все шары, находящиеся первым и последним, не двигаются. Это служит доказательством закона сохранения энергии и импульса. Зная это, можем ли мы действительно быть уверенными в том, что используемое спасательное оборудование действительно надежно и что с его помощью будет действительно возможно спасти жизнь человека?

В следующих ниже разделах далее мы обсудим более детально, что такое сила, как она возникает, и какое ее воздействие на аварийно-спасательное оборудование и, следовательно, как она действует в ходе спасательных операций.

АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

В ходе эвакуационных работ у спасателя есть множество вариантов использования различных инструментов, допустим, резак или разбрасыватели. Большинство из этих инструментов аварийно-спасательного набора работают с помощью гидравлических систем; эти инструменты используют гидравлическую энергию для выполнения простых работ – резание или разбрасывание. Работа, которую необходимо выполнить, может быть простой; материалы, из которых делают в наше время автомобили, в сплавах содержат очень прочную сталь, как например, высокопрочную легированную сталь или бор. Отсюда следует вывод: вполне логично и обоснованно применять для спасательных работ инструменты, работающие с помощью гидравлических систем.

Гидравлические системы могут вырабатывать очень большое количество энергии, которую можно передавать с помощью жидкости через трубы и гибкие шланги. Именно по этим причинам гидравлические системы используются в промышленном оборудовании. Однако, зная все преимущества гидросистем, вместе с тем нужно учитывать другие важные факторы. Первостепенное значение при оценке имеют такие факторы, как надежность и простота в обращении в ходе любых аварийно-спасательных работ. Другой важный аспект функциональности спасательного оборудования, состоит в том, что гидравлическое давление передает энергию, достаточную для проведения эвакуационной работы. Спасателю необходимо иметь с собой проверенные инструменты, на которые можно положиться при выполнении поставленных задач без потери мощности или без каких-либо ограничений по установке.

Существует множество областей применения спасательных инструментов; они служат для разбрасывания, для резания, для вытаскивания и удерживания. Инструменты возможно использовать универсальным образом как раз благодаря гидравлическим системам.

ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Аварийно-спасательные инструменты разработаны с применением гидравлических систем, которые могут развивать большие усилия или силу. Что же такое «сила»?

Сила: это усилие или энергия, приложенная или переданная, служит причиной движения или каких-либо изменений в структуре; активная сила; ...

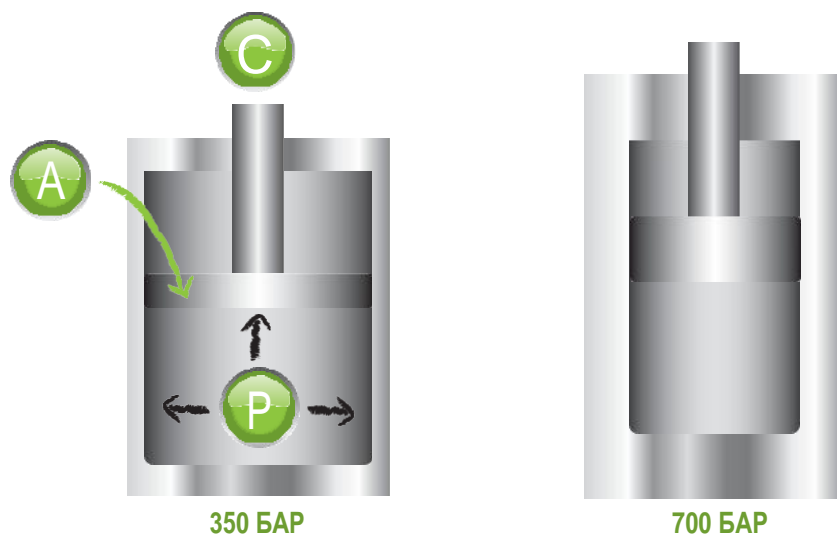
В физике сила определяется, как 'любое воздействие, которое является причиной определенных изменений, будь то положение в пространстве, ориентация или геометрическая структура'. Другими словами, сила может стать причиной изменения скорости объекта (в том числе и придание начального импульса для движения из состояния покоя), т.е. придать определенное ускорение, или же сила может послужить причиной деформации объекта. В спасательных инструментах с гидравлическим приводом сила необходимая для операции резания, разбрасывания или для подъема частей автомобиля из высококачественных сплавов.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПРИВОДЫ СОЗДАЮТ УСИЛИЕ В ГИДРАВЛИЧЕСКОМ ЦИЛИНДРЕ, СОСТОЯЩЕМ ИЗ:

- штока поршня
- поршня
- гидравлической жидкости
- вала гидроцилиндра

В СЛЕДУЮЩЕМ ПРИМЕРЕ ПОЯСНЯЕТСЯ, КАКИМ ОБРАЗОМ ВЗАИМОСВЯЗАНЫ СИЛА И ПЛОЩАДЬ:

Оказывая давление на канцелярскую кнопку и шпильку, если вставлять их в деревянный предмет пальцами, вы заметите, что шпильку намного сложнее приколоть к дереву, чем кнопку, даже если усилия, которые вы прикладываете, одинаковы. Так происходит потому, что в случае со шпилькой необходимо приложить большее давление на меньшую площадь воздействия для того, чтобы приколоть ее к дереву.



Разница заключается в площади, через которую воздействует сила; у кончика шпильки весьма небольшая площадь приложения силы. Сила, воздействующая на меньшую площадь, оказывает большее давление. Формула для вычисления давления следующая: $P = F / A$ (Сила / Площадь) или $F = P \times A$ (Сила = Давление \times Площадь).

Единицу измерения силы ввел еще Ньютон. Давление, в соответствии с официальной Международной системой единиц (СИ), измеряется в паскалях или мега-паскалях (МПа), который, в свою очередь, равен $1 \text{ МПа} = 1 \text{ Ньютон на миллиметр квадратный}$ ($\text{МПа} = \text{Н/мм}^2$). Однако, единицы измерения, не входящие в систему СИ, такие, как бар, также используются ($1 \text{ бар} = 100 \text{ МПа}$).

На аварийно-спасательном оборудовании шкала давления проградуирована в барах. Рынок спасательного оборудования разделен на две части: одна часть представлена аварийно-спасательным оборудованием с гидравлическим приводом и давлением в 700 бар, другая группа – с давлением в 350 бар. Логически рассуждая, можно подумать, что спасательное оборудование, работающее при давлении в 700 бар намного более мощное, чем с рабочим давлением в 350 бар. Однако, дело обстоит несколько иначе.

Ранее мы уже упоминали, что нынешние автомобили строятся из сплавов, в которые входят такие материалы, как высокопрочная низколегированная сталь. Инструменты спасателя должны быть мощными настолько, чтобы эффективно справляться с такими высококачественными материалами. По этой причине от спасательных инструментов требуется определенная мощность, чтобы совершать ту работу, для которой они были разработаны, т.е. резание корпуса автомобиля. Таким образом, получается, что значение силы, прикладываемой к разрезаемому материалу, менять нельзя. С другой стороны, промышленные стандарты спасательного оборудования касательно силы давления разнятся таким образом: 350, 620, 630, 640, 700 или 720 бар; также мы знаем, что значение прикладываемой силы менять нельзя. Таким образом, остается только одна характеристика гидравлического оборудования, которой мы можем манипулировать: площадь.

Итак, если вам нужно то же самое значение силы F (определенное значение приводимого параметра, рассчитанное на то, чтобы справиться с материалом кузова автомобиля) при меньшем значении давления P (350 бар в сравнении с 700 бар) вам необходимо просто прилагать силу к большей рабочей площади A .

ЧТО ДЕЛАЕТ СПАСАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ТАКИМ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ И НАДЕЖНЫМ?

Из предыдущего раздела мы знаем, почему производители аварийно-спасательного оборудования выбирают для этого оборудования именно гидравлические системы: они очень производительны и надежны, что как раз и требуется для работы с высококачественными материалами в современных автомобилях. Таким образом, кроме того, что это оборудование является достаточно мощным для проведения спасательных работ, какие другие особенности или характеристики могут оказаться важными для обеспечения безопасного проведения спасательных работ? Ответ прост.

- Вес
- Производительность и простота в обращении
- Долговечность и надежность

Мы пришли к заключению, что (гидравлическое) давление необходимо для выработки требуемой силы для выполнения спасательным инструментом определенных операций: резания, разбрасывания или извлечения. В этом документе мы разберемся, есть ли какая-то взаимосвязь между давлением, весом и производительностью. Также будет приняты во внимание такие характеристики как простота в обращении, надежность и долговечность инструментов, использующих гидравлический привод. Мы попытаемся разобраться, существуют ли идеальные спасательные инструменты, т.е. такие инструменты, с помощью которых можно было бы исключить любую возможность возникновения неуправляемого движения объектов.

Замечание: Все расчеты, измерения, испытания и допущения приведены в приложениях А – С

ВЕС

Аварийно-спасательные операции требуют времени для выполнения. Для начала необходимо правильно понять и оценить ситуацию, а уже потом опытный спасатель проводит успешную спасательную операцию. Тем не менее, результаты исследований показывают, что причиной почти 60% травм спасателей являются чрезмерные нагрузки и стресс.

Поэтому, просто необходимо уменьшить вес оборудования. Что же мы получим в результате? Можем ли мы снизить вес инструмента без каких-либо последствий? Ответ можно найти в следующей формуле:

$$P = F/A \text{ и } F = P \times A$$

Нам известно, что для работы спасательных инструментов требуется определенная сила для выполнения операций резания, растягивания или вырывания. Все расчеты, приведенные ниже, основаны на допущении, что сила и давление остаются неизменными, а спасательный инструмент работает при номинальном давлении в 350 или 700 бар.

ПРИМЕР:

Нам необходимо выработать силу 1400кН с помощью гидравлического инструмента, работающего при давлении 350 и 700 бар. Чему же будет равняться А?

$$1400 = 350 \times A, \text{ где } A = 4$$

$$1400 = 700 \times A, \text{ где } A = 2$$

Из формулы следует, что меняя площадь приложения силы, с помощью инструментов мы можем вырабатывать ту же силу. Для выработки той же силы с меньшим давлением требуется увеличить площадь поршня и наоборот. Поскольку вырабатываемая сила остается той же, диаметр штока поршня также остается неизменным для обоих типов гидравлических систем в инструментах: с давлением в 350 и 700 бар. Что же касается самого поршня, то его увеличение его диаметра в результате приводит и к увеличению штока гидроцилиндра, а следовательно и размеров всего инструмента. Неудивительно, что большие размеры подразумевают также больший вес, поэтому выбор падает на инструменты с меньшими габаритами.

Давайте еще раз вернемся к примеру, который мы рассматривали ранее; в этом примере кончик шпильки мог сделать дырочку в деревянном предмете, в то время как наш палец при большем значении прикладываемой силы этого сделать не мог. Этот пример наглядно показывает, что значения площади и давления тесно связаны между собой. Сила, воздействующая на маленький поршень, производит большое давление. Высокое давление автоматически в результате дает большую компрессию рабочей жидкости гидросистемы, и на стенках цилиндра возникают большие нагрузки.

Таким образом, площадь рабочей поверхности непосредственно зависит от давления и наоборот. Сила, воздействующая на маленькую площадь, производит большее давление. Большое давление служит причиной возникновения большого напряжения. Поскольку при большом напряжении внешние стенки должны быть крепкими и прочными, и, соответственно, более толстыми и тяжелыми, общий вес инструмента увеличивается благодаря этим требованиям. Внешние стенки инструмента, работающего при давлении 700 бар, фактически, в 2 раза толще, чем инструмента, работающего при давлении в 350 бар. Это служит гарантией, что внешние стенки не разорвет под высоким давлением, при котором инструмент будет работать.

В процессе быстрого сравнения характеристик различного спасательного оборудования можно заметить, что в определенном производственном сегменте – инструменты, работающие при давлении 700 бар в действительности весят больше, чем работающие при давлении, которое в половину меньше; разница в весе, как правило, составляет 2 килограмма и больше.

Таким образом, по-видимому, ваш выбор падет на инструменты низкого давления; они, как правило, легче, что является немаловажным фактором для спасателя, поскольку риск пострадать от перенапряжения или стресса в ходе спасательной операции, снижается.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

Нет необходимости доказывать, что простота в обращении и производительность спасательного оборудования – это важнейшие показатели, необходимые для выполнения спасательных операций. Не слишком хочется работать с оборудованием, которое нельзя переносить вручную или обращение с которым вызывает затруднения; работа с крупногабаритным оборудованием, особенно в узких местах, вряд ли вызовет у кого-то энтузиазм. Но самым важным фактором, которым никогда нельзя поступаться, это производительность спасательного оборудования.

ХАРАКТЕРИСТИКИ, КОТОРЫЕ ТЕСНО СВЯЗАНЫ С ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ И ПРОЦЕССОМ ЭКСПЛУАТАЦИИ:

- Действующая сила
- Общий вес (см. предыдущий раздел).

$$\text{Действующая сила} \\ F = P \times A \text{ or } P = F / A$$

Эта формула наглядно показывает, что с уменьшением давления рабочая площадь должна увеличиваться для того, чтобы действующая сила оставалась неизменной. Эта сила вырабатывается движущимся вверх поршнем, и передается объекту посредством спасательного инструмента. В случае использования резака сила (или усилие) передается на лезвия, которые и производят необходимый разрез. В случае с разбором завала сила передается через поршень на манипуляторы, которые раздвигают обломки.

В предыдущем разделе было отмечено, что диаметр поршня спасательного инструмента с рабочим давлением 350 бар должен быть больше (большая площадь). Однако диаметр штока поршня D1 остается неизменным для инструментов с высоким и низким рабочим давлением (поскольку вырабатываемая сила должна быть одинаковой в обоих случаях). Если диаметр штока поршня остается тем же самым, а площадь самого поршня увеличивается по причине уменьшения давления до 350 бар, полезная площадь на штоковой стороне поршня (в сравнении с инструментами высокого давления) будет выше. Это решающий фактор для спасательных инструментов, которые одновременно обладают возможностями и резака и разбрасывателя; такие инструменты известны, как универсальные спасательные инструменты.

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

В процессе резания поршень двигается; инструменты с рабочим давлением в 350 бар и 700 бар вырабатывают одинаковое давление ($F = P \times A$). Однако, в процессе разбрасывания поршень движется в обратную сторону, соответственно, вырабатывая возвратное усилие. Это возвратное усилие используется при выработке силы, достаточной для высокоэффективной работы инструмента как разбрасывателя. Опыты показывают, что возвратное усилие снижается при росте рабочего давления (см. приложение Б). Это может привести к снижению возвратного усилия и соответственно, эффективности инструмента при разбрасывании, если пользоваться инструментами с рабочим давлением 700 бар.

Другими словами, инструменты с рабочим давлением 700 бар имеют меньшую производительность универсального инструмента в операциях разбрасывания (когда требуется возвратное усилие). Такие универсальные инструменты (с возможностями резака и разбрасывателя) будут менее мощными и, следовательно, менее эффективными, и со временем поддадутся износу и не смогут производить силу, достаточную для работы с высокопрочными материалами современных автомобилей.

ДАВЛЕНИЕ 1^{го} ЭТАПА

При сравнении возможностей (сил) инструмента на первом этапе резания или разбрасывания инструментов с высоким и низким рабочим давлением в гидравлических системах, важно помнить о зависимости, физический принцип, который был изложен выше и выражался формулой $F = P \times A$.

Если значение давления первого этапа в инструментах с высоким и низким рабочим давлением равны, скажем, 120 бар, легко понять (по формуле $F = P \times A$), что инструмент с низким рабочим давлением и большим диаметром поршня (и большей площадью) будет вырабатывать больше силы при давлении 120 бар. Для инструментов с гидравлическими системами низкого давления это означает, что на первом этапе будет выполнено больше работы по резанию. Дополнительное преимущество заключается в сохранении движущей силы, поскольку переключения инструмента на второй этап (с ослаблением потока и скорости) не происходит так часто скоро, как в случае с использованием инструментов высокого рабочего давления.

Доступная энергия (мощность и вращающий момент двигателя) распределяется более равномерно по диапазону рабочего давления при использовании инструментов с гидравликой низкого давления, таким образом достигается лучшая производительность оборудования, скорость работы и больше доступной мощности при относительных значениях давления.

Поскольку значение давления, установленного для первого этапа, вероятнее всего, не будут одинаковыми, то проще будет сравнивать процентное отношение. Если взять значения давления первого этапа для системы и вычислить его долю в процентах от максимального давления этой системы, можно увидеть, что доступная энергия систем низкого давления распределяется более равномерно. Точка переключения на второй этап будет ближе к отметке в 50%, причем доступная энергия будет распределена более равномерно и эффективно на двух независимых этапах.

ПРОИЗВОДИТЕЛЬ	1-Й ЭТАП	2-Й ЭТАП	МОЩНОСТЬ	МОЩНОСТЬ НА 1-М ЭТАПЕ	МОЩНОСТЬ НА 1-М ЭТАПЕ(СИЛА)
A	0-190 бар	190-720 бар	1,000 кН	190/720=26%	0.26*1000=260кН
B	0-150 бар	150-630 бар	1,000 кН	150/630=24%	0.24*1000=240кН
C	0-120 бар	120-350 бар	1,000 кН	120/350=35%	0.35*1000=350кН
D	0-160 бар	160-700 бар	1,000 кН	160/700=23%	0.23*1000=230кН

НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

Надежность, долговечность и безопасная работа инструмента тестируются на соответствие стандартам наподобие EN и пр. Можно с уверенностью предположить, что все доступные сегодня на рынке спасательные инструменты, которые отвечают стандартам EN и/или NFPA, совершенно безопасны.

Однако, известно также, что для инструментов с высоким рабочим давлением скорость износа оборудования, материалов и компонентов очень высокая. В связи с этим техобслуживание этого оборудования, работающего при высоких давлениях (и других компонентов системы: насосов, шлангов, мест соединений), должно проводиться чаще и быть более дорогим.

РЕЗЮМЕ

Для проведения успешной спасательной операции совершенно необходимо придать устойчивость объекту. Чтобы стабилизировать положение автомобиля (или другого объекта, под который попал пострадавший человек) необходимо убедиться в том, что автомобиль не имеет возможности сдвинуться с места. Малейшее движение автомобиля может стать причиной дополнительных травм.

При спасательных операциях часто используют оборудование с гидравлическими приводами, которые вырабатывают необходимую для работы мощность. Для производства многокомпонентных высококачественных материалов для современных автомобилей используются сложные технологии; это объясняет, почему для спасательных работ требуется настолько большие мощности. Для выработки такой мощности требуется определенное давление и площадь приложения силы ($F = P \times A$), причем значения силы фиксированы, в отличие от площади и давления, которыми можно манипулировать для того, чтобы добиться выполнения спасательным инструментом работы, для которой он создавался (резание, разбрасывание или извлечение).

Тем не менее, дальнейший анализ конструкции и работы гидравлических систем (цилиндров) а также испытания показывают, что гидравлические системы высокого давления могут не совсем удовлетворять требованиям, предъявляемым к спасательным инструментам, поскольку они имеют:

- **Большой вес:** высокое давление служит причиной возникновения высокого напряжения на внешних стенках цилиндра, которые по этой причине делают более толстыми, чтобы они могли справиться с этим напряжением.
- **Меньшую производительность:** высокое давление приводит к потере производительности при возвратном усилии. Возвратное усилие просто необходимо для выполнения функций разбрасывателя, и поэтому в этих целях просто нельзя допустить никаких потерь производительности. Помимо этого, высокое давление становится причиной снижения мощности на первом этапе работы поршня, тогда как на первом этапе для проведения быстрых и безопасных спасательных операций требуется высокая производительность.
- **Повышенные требования к обслуживанию:** работа при высоких давлениях приводит к увеличению температуры при высвобождении энергии. Рост температуры приводит к ускорению износа материала (постепенно производительность падает). Крайне высокие температуры системы снижают смазочные способности жидкости, служат причиной быстрого износа уплотняющих прокладок и подшипники, а также множество других узлов инструмента.
- **Меньшую безопасность:** инструменты высокого рабочего давления вырабатывают такое большое количество энергии, что какая-то часть силы становится неуправляемой, что приводит к возникновению неуправляемого движения. Высокое давление означает высокую степень сжатия жидкости и высокий запас энергии в материалах инструмента (возникает упругая деформация), в результате это приводит к большему высвобождению энергии и 'ранее упоминавшимся неуправляемым движениям'.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При спасательных работах рекомендуется использовать оборудование с гидравлическими системами низкого рабочего давления (>300 бар и <500 бар). Инструменты низкого давления безопаснее в работе, вырабатывают мощность, которую возможно контролировать, а, соответственно, можно держать под контролем всю аварийно-спасательную операцию.

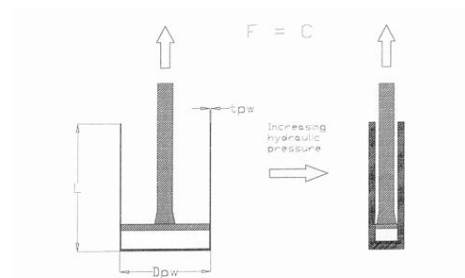
В то же время, инструменты низкого давления не теряют производительность, даже при работе в качестве разбрасывателя (универсальные инструменты). Инструменты низкого давления в работе выделяют меньше тепла, что только положительно влияет на срок службы материалов, и поэтому к обслуживанию этих инструментов предъявляются менее строгие требования. В совокупности, те преимущества, которые дают инструменты такого типа - более контролируемые движения и работа, повышенный уровень безопасности и меньший вес не может не оценить спасатель (для него еще и снижается риск получить травму вследствие перенапряжения и различных нагрузок).

ПРИЛОЖЕНИЯ

Прежде чем перейти к приложениям.

Для проведения расчетов и обсуждений результатов, приведенных в приложениях, сделаны следующие допущения:

1. Сила, действующая на штоке поршня	$F = 200 \text{ кН (20 тонн)}$
2. Длина цилиндра	$L = 300 \text{ мм}$
3. Допустимое напряжение	$\sigma = 0.2 = 340 \text{ Н/мм}^2$
4. Плотность алюминия	$\rho = 2.7 \cdot 10^{-6} \text{ кг/мм}^3$
5. Коэффициент устойчивости	$= 1.5$
6. Расчеты проводятся для толстостенных цилиндров	
7. Значения для всех остальных параметров принимаются аналогично	



Рассуждения ниже будут касаться лишь одного вопроса: действие цилиндра гидравлической системы спасательного инструмента. Параметры других узлов зависят от требуемой действующей силы. Поскольку это значение является предустановленным, эта величина не влияет на сопоставительный анализ и последующие рассуждения.

ПРИЛОЖЕНИЕ А: ВЕС

Вес конструкции прямо пропорционален рабочему давлению; чем выше давление, тем выше вес конструкции. Вес определяется при известной толщине стенок и рабочей площади поршня ($F = p \cdot A$) прямо пропорционально рабочему давлению p :

$$W_{\text{цилрв}} = p \cdot L \cdot \pi \cdot \{ (R_{\text{pw}} + t_{\text{pw}})^2 - R_{\text{pw}}^2 \}$$

Зависимость веса цилиндра гидравлической системы от рабочего давления показано на рис. 2.

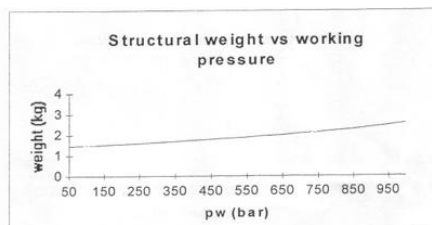


Figure 2: Structural weight comparison

На график сверху представлено в некоторой степени идеализированная зависимость веса от рабочего давления. По мере увеличения толщины стенок с ростом рабочего давления, также угроза накопления напряжений в конструкции пропадает. Таким образом, запас прочности повышается, а вес конструкции увеличивается.

Общий вес цилиндра гидравлической системы определяется по общему весу инструмента и по объему гидравлической жидкости. В этом случае при расчете веса коэффициентом сжатия гидравлической жидкости можно пренебречь. Зависимость общего веса от рабочего давления представлена на рис. 3.

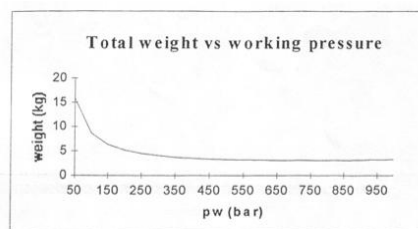


Figure 3: Total weight comparison

Снижение величины общего веса при росте рабочего давления практически прекращается, когда давление превышает планку в 300 бар. Возможно также и дальше уменьшить вес, однако на очень маленькое значение. Дальнейшее увеличение рабочего давления не дает никаких преимуществ в работе.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б: ЭРГОНОМИЧНОСТЬ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

Действующая сила

Очень важным моментом при расчетах является величина силы, действующей при возврате поршня в цилиндр. Эта сила (весьма важна для инструментов, обладающих возможностями разбрасывателя и резака) обратно пропорциональна рабочему давлению. Эта зависимость отражена на рис. 4.

Зависимость принимает такой вид в результате снижения рабочей площади поршня и необходимого минимального значения диаметра штока. Для небольших диаметров поршня диаметр штока претерпевает значительные потери полезной площади.

$$F_{\text{штока}} = p_w * A_{\text{полезная}}$$

$$\text{Для входа впуска} \quad A_{\text{полезная}} = A_{\text{поршня}}$$

$$\text{Для обратного хода} \quad A_{\text{полезная}} = A_{\text{поршня}} - A_{\text{штока}}$$

Отсюда четко видно, что высокое рабочее давление приводит к потерям производительности при обратном ходе поршня.

ПРИЛОЖЕНИЕ С: БЕЗОПАСНОСТЬ

При высоком рабочем давлении возрастает важность таких параметров, как надежность и безопасность. Одним из наиболее важных характеристик, которые имеют прямое отношение к безопасности спасательных работ, является величина сжатия рабочей жидкости гидравлических систем при высоких рабочих давлениях. Тесты, проведенные в компаниях-поставщиках гидравлических систем и жидкостей для них, показали, что при давлениях 700-750 бар следует ожидать величину сжатия выше 4% (см. рис. 6)

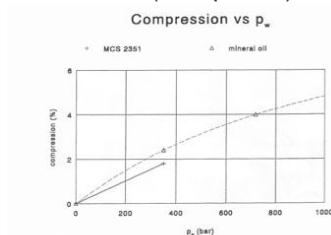


Figure 6: Compressibility of some hydraulic fluids

Сильно спрессованная под высоким давлением рабочая жидкость гидросистем несет в себе потенциальную опасность. В случае аварии вся энергия деформации, заключенная в сжатой жидкости, высвобождается. Эта энергия при использовании высоких давлений также намного выше и мощнее обычного, и в случае возникновения утечки может произойти мощный взрыв. Нынешние тенденции перехода на водно-гликолевую жидкость с более высоким коэффициентом сжатия только способствуют заострению внимания на этой проблеме. При меньшем рабочем давлении легче обеспечить безопасность рабочего пространства, вне зависимости от того, какая рабочая жидкость используется. Это в особенности учитывается для гидравлических цилиндров, сделанных из металла. Если гидравлический цилиндр еще армирован волокнами, то в этом случае режим работы при отказе становится более безопасным.

Кроме прямых следствий исследования параметров собственно инструмента, рабочее давление также влияет на другие компоненты гидравлической системы, такие, как:

- Насос
- Шланги

В связи с этим, изменена конструкция гидронасоса, так же, как и гидравлического цилиндра. Высокое рабочее давление требует использования в инструментах «тяжелых» материалов с «тяжелыми» сальниковыми уплотнениями для предотвращения утечек. Помимо этого, большое количество энергии, заключенное в сильно сжатой жидкости, служит причиной повышения температуры этой жидкости. Поскольку любая жидкость при повышении температуры теряет плотность, то коэффициент сжатия увеличивается. В результате повышается уровень опасности элементов, содержащихся в сжатой рабочей жидкости.

Шланг высокого давления должен быть хорошо армирован для работы с высокими давлениями. Если же шланг будет недостаточно жестким, высокие нагрузки разорвут его. Это может также послужить причиной замедления реакции системы и быстрому старению шланга. Для использования высоких давлений в насосах и шлангах требуется высокое качество и часто более дорогостоящие марки материалов и с большой вероятностью потребуются дополнительные работы по техническому обслуживанию.