

УДК 62-85:621.924.93

Описание габаритов насосной станции высокого давления с пневмоприводом

*Гайнутдинова А.А., магистр 2 года,
Россия, 127005, г. Москва, МГТУ «СТАНКИН»
кафедра «Системы приводов»*

*Научный руководитель: Сазанов И.И., к.т.н., профессор
Россия, 127005, г. Москва, МГТУ «СТАНКИН»
vyaroz@bmstu.ru*

Гидроструйная резка – направление в области обработки материалов, позволяющее раскраивать практически любые материалы, начиная от поролона и пластмассы и заканчивая твердыми сплавами.

Одним из основных узлов гидроструйной установки является станция высокого давления (НСВД). При применении гидравлического привода НСВД состоит, обычно, из масляного бака, гидравлического насоса с приводным электродвигателем, одного или нескольких мультипликаторов, ресивера, гидроаппаратуры, систем кондиционирования (фильтрации и охлаждения) масла, водяных фильтров тонкой очистки, электрошкафа управления, вспомогательного насоса подачи технологической воды, рукавов (рис. 1).

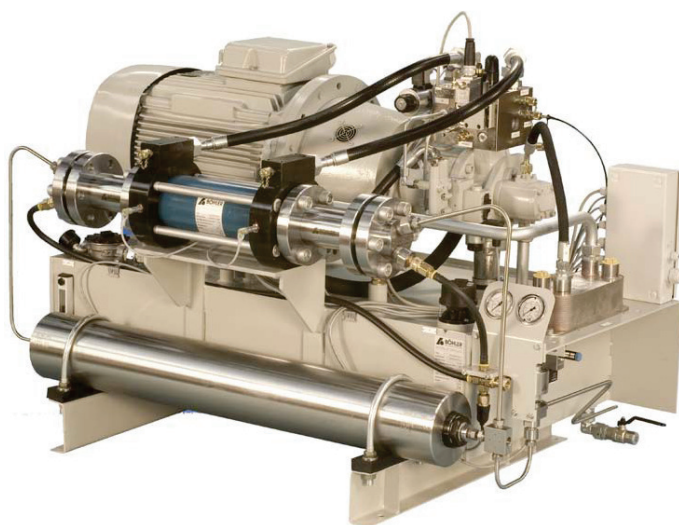


Рис. 1. НСВД с гидроприводом

В случае применения пневматического привода, комплектация НСВД будет несколько отличаться от комплектации НСВД с гидроприводом. Обеспечение энергией привода мультипликатора от цеховой магистрали позволяет значительно уменьшить габаритные размеры насосной установки за счет исключения электропривода и гидравлической системы. Однако при тех же габаритах мультипликатора уменьшается его мощность. Увеличить ее можно за счет увеличения габаритных размеров пневмопривода.

Поэтому встает задача определения основных конструктивных параметров насосного агрегата и его режимов работы, при которых использование пневмопривода будет рациональным.

Под основными конструктивными параметрами оборудования понимают площадь или объём, занимаемый им, а также значение его массы. К режимам работы НСВД относят расход воды, выходное давление, шумовые характеристики, вибрации. В соответствии с поставленной задачей далее рассматривается взаимосвязь объема, занимаемого НСВД, и элементами выходной мощности – давлением и расходом.

Основное преимущество массогабаритных параметров в случае применения пневмопривода состоит в том, что в насосную установку не входит источник сжатого воздуха, тогда как в установках с электро- или масляным приводом эти узлы являются частью установки.

Предполагая, что вспомогательный насос подачи технологической воды расположен вне НСВД и, блок подготовки воздуха находится у компрессорной станции, то их габариты не будут учитываться при описывании габаритов НСВД с пневмоприводом. Из расчетов также исключаются габариты электрошкафа управления, фильтра, исходя из того, что они приняты равными при применении и гидро-, и пневмоприводов.

Тогда объем, рассматриваемой НСВД с пневмоприводом, можно описать через произведение коэффициента k (коэффициент k учитывает объемы, занимаемые трубопроводами, аппаратурой и др., а также «конструктивные пространства» - пустоты в сборке НСВД) на сумму объемов мультипликатора $W_{\text{мульти}}$ и ресивера $W_{\text{рес}}$:

$$W_{\text{НСВД}} = k \cdot (W_{\text{мульти}} + W_{\text{рес}})$$

Общий объем, занимаемый мультипликатором, можно описать зависимостью:

$$W_{\text{мульти}} = \frac{\pi}{4} \cdot L_{\text{мульти}} \cdot D_{\text{мульти}}^2$$

где $L_{\text{мульти}}$ – габаритный линейный размер мультипликатора,

$D_{\text{мульти}}$ – габаритный диаметральный размер мультипликатора.

Параметр $D_{\text{мульт}}$ мультипликатора зависит от диаметра поршня $D_{\text{поршня}}$ и толщины стенок мультипликатора C_1 :

$$D_{\text{мульт}} = D_{\text{поршня}} + C_1$$

В свою очередь, диаметр поршня $D_{\text{поршня}}$ связан с выходным давлением $P_{\text{вых}}$ и давлением $P_{\text{возд}}$ сжатого воздуха по следующему соотношению:

$$D_{\text{поршня}} = d_{\text{штока}} \sqrt{\frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{возд}}}}$$

где $d_{\text{штока}}$ - диаметр штока.

Габаритный линейный размер мультипликатора можно описать через длину хода поршня l и величину C_2 , содержащую в себе значение ширины поршня, толщину крышек и других конструктивных параметров:

$$L_{\text{мульт}} = l + C_2 = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} d_{\text{шт}}^2 \cdot z \cdot f} + C_2$$

Теоретическая производительность насоса определяется как:

$$Q = \frac{\pi d_{\text{шт}}^2}{4} l \cdot f \cdot z$$

где f – частота возвратно-поступательного движения поршня,

z - количество штоков.

$$l = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} \cdot d_{\text{шт}}^2 \cdot z \cdot f}$$

С учетом вышеперечисленных зависимостей общий объем, занимаемый мультипликатором, будет описываться следующим уравнением:

$$W_{\text{мульт}} = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{Q}{\frac{\pi}{4} d_{\text{шт}}^2 \cdot z \cdot f} + C_2 \right) \cdot \left(d_{\text{штока}} \sqrt{\frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{возд}}}} + C_1 \right)^2 \quad (1)$$

Общий объем, занимаемый ресивером, будет составлять:

$$W_{\text{рес}} = \frac{\pi}{4} D_{\text{внеш}}^2 \cdot l_{\text{рес}} \quad (2)$$

где $l_{\text{рес}}$ - линейный размер ресивера;

$D_{\text{внеш}}$ – внешний диаметр ресивера, включающий в себе значение внутреннего диаметра и значение толщины стенок. Исходя из необходимого и достаточного условия прочности, толщина стенок ресивера принимается равной двум внутренним диаметрам. Тогда значение внешнего диаметра ресивера равно:

$$D_{\text{внеш}} = 3d_{\text{внутр}} \quad (3)$$

Выражение (2) с учетом равенства (3) можно записать в виде:

$$W_{\text{рес}} = \frac{\pi}{4} \cdot 9d_{\text{внутр}}^2 \cdot l_{\text{рес}}$$

Объем ресивера, необходимый для сглаживания пульсаций определяется выражением:

$$V = \frac{t_c}{0,58 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[3]{p_{\text{вых}}} \cdot d_c^{-2}}$$

или

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot d_{\text{внутр}}^2 \cdot l_{\text{рес}}$$

где t_c – время спада избыточного давления до нуля,

d_c - диаметр сопла, определяемый выражением:

$$d_c = \sqrt{\frac{4Q}{\mu \cdot u_{\text{сж}} \cdot \pi}}$$

где μ – коэффициент расхода,

$u_{\text{сж}}$ – теоретическая скорость истечения жидкости из сопла, равная

$$u_{\text{сж}} = \left(\frac{2[(1 + \alpha \cdot p_{\text{вых}})^{(\alpha-k)/\alpha} - 1]}{\rho(0, T)(\alpha - k_0)} \right)^{1/2}$$

Чтобы учесть снижение сжимаемости жидкости при повышении давления, можно использовать зависимость $k(p)$ в виде уравнения Тэйта:

$$k = \frac{k_0}{1 + \alpha p}$$

где k_0 - сжимаемость жидкости при нулевом избыточном (атмосферном) давлении.

Зависимость плотности от давления и температуры описывается выражением:

$$\rho(p, T) = \rho_0(1 + \alpha p)^{k/\alpha} \exp\left(-\frac{a_1 T}{1 - b_1 T}\right)$$

В [1] представлены для воды параметры (k_0, a_1, b_1, α) приведенных выше уравнений, полученные обработкой экспериментальных данных в диапазоне давлений $p=0 \dots 1$ ГПа и температур $T=0 \dots 200$ °С.

С учетом описанных зависимостей, общий объем, занимаемый ресивером, будет описываться следующим уравнением:

$$W_{\text{рес}} = \frac{9 \cdot 1000 \cdot t_c \cdot Q \cdot \sqrt{\rho(0, T)(\alpha - k_0)}}{0,58 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \mu \cdot \sqrt[3]{p_{\text{вых}}} \cdot \sqrt{\left[(1 + \alpha \cdot p_{\text{вых}})^{\left(\alpha - \frac{k_0}{1 + \alpha p}\right)/\alpha} - 1\right]}} \quad (4)$$

После математических преобразований уравнений, получена зависимость общего габаритного объема НСВД с пневмоприводом от выходного давления и расхода жидкости:

$$W_{габар.пневм.привод} = \kappa \cdot [W_{мульти} + W_{ресивера}] = \kappa \cdot \left[\frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{Q}{\frac{\pi}{4} d_{ум}^2 \cdot z \cdot f} + C_2 \right) \cdot \left(d_{штока} \sqrt{\frac{P_{вых}}{P_{возд}}} + C_1 \right)^2 + \frac{9 \cdot 1000 \cdot t_c \cdot Q \cdot \sqrt{p(0,T)(\alpha - k_0)}}{0,58 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \mu \cdot \sqrt[3]{P_{вых}} \cdot \sqrt{\left[(1 + \alpha \cdot p_{вых})^{\left(\alpha - \frac{k_0}{1 + \alpha p} \right) / \alpha} - 1 \right]} \right] \quad (5)$$

Анализ выражения (5) показал, что выходное давление и расход воды по-разному оказывают влияние на габариты мультипликатора и ресивера, а именно:

- с увеличением расхода воды габариты мультипликатора линейно растут;
- с увеличением выходного давления габариты мультипликатора растут нелинейно;
- с увеличением расхода воды габариты ресивера линейно растут;
- с повышением выходного давления габариты ресивера уменьшаются нелинейно.

Из вышеперечисленных утверждений следует, что общие габаритные параметры НСВД будут увеличиваться при повышении значения выходной мощности, а именно давления и расхода воды.

Дальнейший анализ проводился для проверки и подтверждения теоретических выводов по выявлению степени влияния выходных параметров на габариты НСВД, а также экспериментальное определение оптимальных значений выходного давления и расхода, при которых НСВД будет иметь наименьшие габариты.

Исследование зависимости габаритов НСВД от выходной мощности по полученной математической модели (5) проводилось с использованием Microsoft Excel. Определение габаритов НСВД осуществлялось в диапазоне значений выходного давления от 100 МПа до 1000 МПа с шагом 50 МПа и расходе воды от 1,5 л/мин до 7 л/мин (значения давления и расхода выбирались априорно). Также был определен коэффициент «конструктивного пространства» k , равный значению 3,83.

В ходе исследования математической модели получен график (рис. 2), который отображает зависимость габаритов от давления при постоянном расходе ($Q=3,8$ л/мин). При этом было определено оптимальное давление $P=150$ МПа, обеспечивающее наименьшее значение габаритов НСВД. Т.к. график двумерный, то оптимум режима работы НСВД наблюдается в точке, указанной на рис. 2 стрелкой.

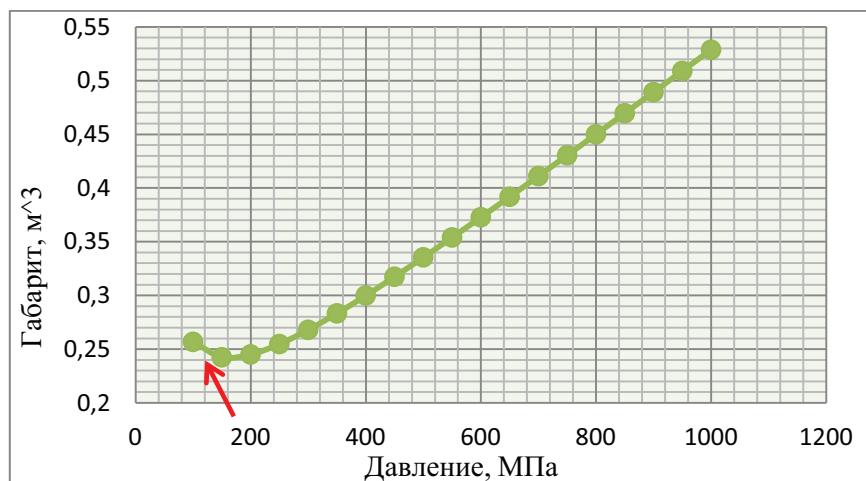


Рис. 2. Габарит НСВД – Давление ($Q=\text{const}$)

Степень влияния каждого из варьируемых параметров (P и Q) на габариты мультипликатора и ресивера изображена на рис. 3.

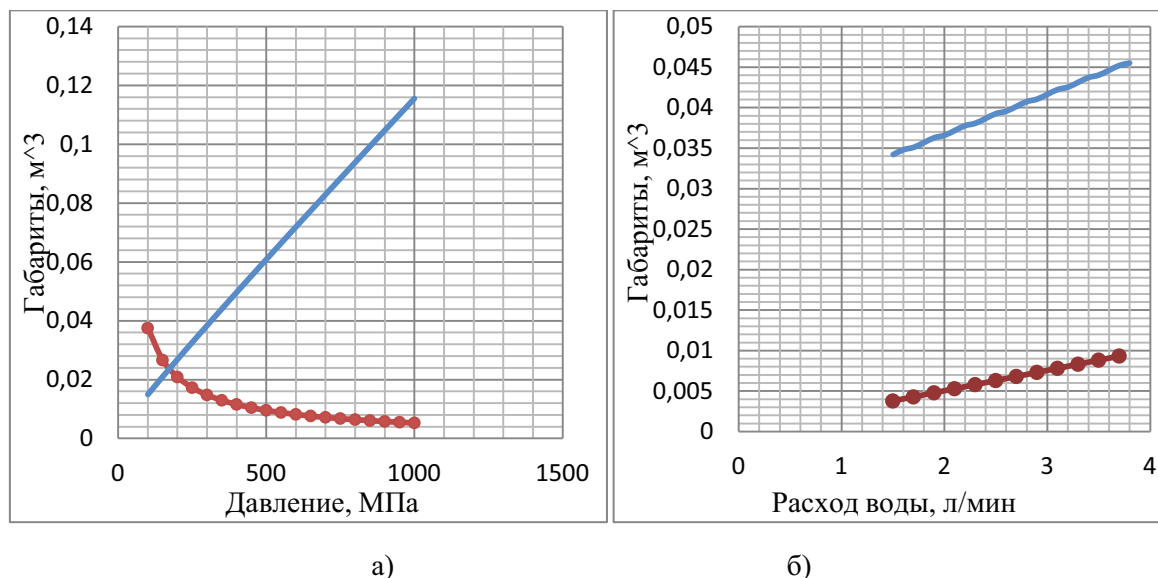


Рис.3. Влияние параметров выходной мощности на габариты мультипликатора (—) и ресивера (—): а – влияние выходного давления, б – влияние расхода воды

Диаграмма на рис. 3,а отображает зависимость габаритов компонентов НСВД от выходного давления при расходе $Q=3,8$ л/мин. С увеличением давления объем мультипликатора возрастает более стремительно, чем уменьшается значение объема ресивера при тех же условиях.

На рис. 3,б представлена зависимость габаритов НСВД от расхода воды при выходном давлении $P=400$ МПа. С ростом расхода воды габариты мультипликатора и ресивера растут, примерно, с одинаковыми темпами.

На основе изложенного исследования можно сделать вывод о том, что на плоскости $P - Q$ (давление и расход воды НСВД) существует точка оптимума (минимума), полученная по критерию габаритных размеров насосной установки. Также в ходе проведенного анализа выявлено, что наибольшее влияние на габарит НСВД оказывает выходное давление.

Список литературы

1. Белоусов В.С. Насосные агрегаты сверхвысокого давления для гидроструйной резки. Теория и расчет. Ч.1: учеб пособие / В.С. Белоусов, Д.Н. Смирнов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. - 67 с.
2. Иванов В.И. Гидравлический привод и средства автоматизации: учебное пособие / В.И.Иванов. – М.: ГОУ ВПО МГТУ «Станкин», 2010 – 263 с.
3. Степанов Ю.С., Барсуков Г.В. Современные технологические процессы механического и гидроструйного раскроя технических тканей. Библиотека технолога. М.: Машиностроение, 2004. 240 с., ил.