

## Агрегаты хранения жидкости авиационных гидросистем.

# 12, декабрь 2012

DOI: 10.7463/0113.0513812

Шумилов И. С., Солотёнков Н. П., Виноградова Т. Г.

УДК 62-522.2

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

Россия, ОАО «Туполев»

[shumilov-it@yandex.ru](mailto:shumilov-it@yandex.ru)

К ним относятся гидравлические и дренажные баки с системой наддува или поддавливания. Гидробаки предназначены: для хранения необходимого запаса жидкости; обеспечения подачи жидкости в насосы на всех режимах полёта, включая положительные и отрицательные перегрузки по трём координатным осям самолёта; для сепарации газа, если нет в ГС дополнительных устройств; для компенсации объёмов рабочей жидкости при изменениях её температуры и давления, ошибках обслуживающего персонала при дозаправке ГС жидкостью, при работе дифференциальных агрегатов, расчётных утечках рабочей жидкости в эксплуатации; для уменьшения пенообразования; для ограничения давления в баке; для сброса излишков жидкости и т. д.

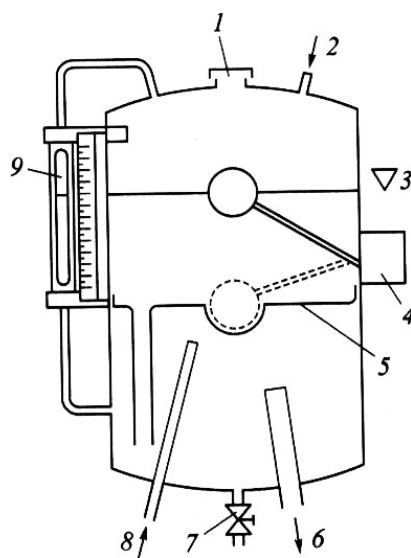


Рисунок 1 - Простейшая схема ГБ открытого типа.

1-оболочка; 2-заливная горловина (не рекомендуется к применению); 3-наддув; 4- датчик дистанционного уровнемера; 5-противоперегрузочная перфорированная перегородка; 6-питание насоса; 7-сливной кран; 8-слив из ГС; 9-визуальный уровнемер (в настоящее время применяется редко).

Гидробаки бывают открытого и закрытого типов. **Гидробаки открытого типа** (рис. 1) представляют собой тонкостенную ёмкость, позволяющую

содержать заданное количество жидкости и обеспечивать выше приведённые требования, при этом гарантируется заданная статическая и циклическая прочность его оболочки.

Гидробаки открытого типа имеют простую и надёжную конструкцию без подвижных частей, но обладают большими габаритами и требуют наличия дренажного бака (рис. 1, 2.), а также сложной и тяжёлой системы его наддува, не обеспечивают работу насосов при длительных перегрузках, включая отрицательные. Без применения специальных противоперегрузочных камер, ухудшают условия эксплуатации рабочей жидкости из-за её постоянного контакта с воздухом или азотом.

Дренажные баки подключаются к основным и служат для сброса жидкости, пены и её паров при ошибках во время заправки ГС жидкостью и расчётных колебаниях уровня жидкости в баке. Дренажные баки предохраняют конструкцию и воздушную среду самолёта от жидкости и её паров. Дренажный бак устанавливается один на все баки ГС, если позволяют компоновочные условия, или на каждый бак ГС свой дренажный бак (рис. 2 и 3.)

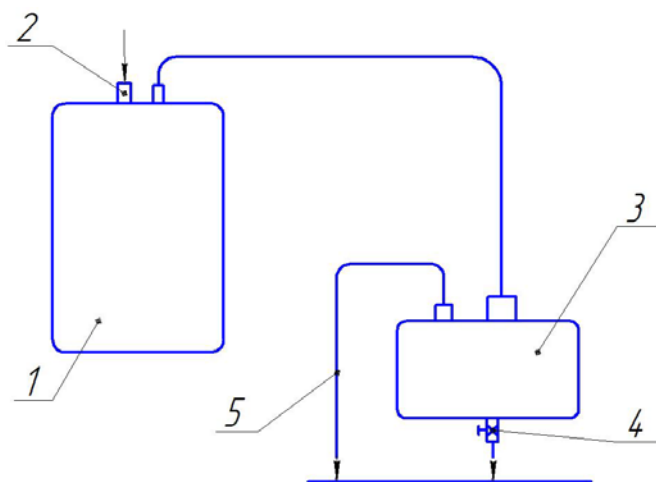


Рисунок 2 - Пример схемы подключения дренажного бака.

1-основной бак, 2-штуцер системы наддува, 3-дренажный бак, 4-кран для слива жидкости из дренажного бака, 5-трубопровод для несанкционированного сброса излишков жидкости и пены за борт.

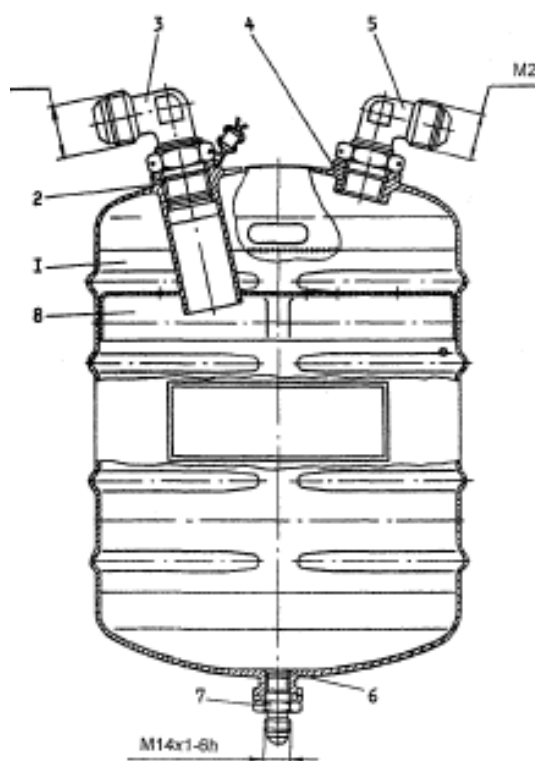


Рисунок 3 - Пример конструкции дренажного бака.

1-корпус, 2-горловина, 3-штуцер для трубопровода, соединяющего дренажный бак с основным, 4 и 5-горловина и штуцер для трубопровода сброса излишков жидкости и пены, 6-горловина, 7-штуцер слива жидкости и пены на регламентных работах, 8-перфорированная перегородка.

На рис. 4. показан пример системы наддува баков открытого типа с наддувом воздухом, которая функционирует от баллонов высокого давления (до  $150 \text{ кг/см}^2$ ) с сухим газом (воздухом), обеспечивая высокую надёжность благодаря отсутствию влаги в заправленном в баллоны газе. Предусмотрены аварийные системы наддува от системы кондиционирования воздуха (СКВ), где присутствует влажный воздух, требующий специальных устройств для осушения поступающего воздуха от СКВ.

Гидробаки открытого типа широко применяются на пассажирских, транспортных и неманевренных самолётах, например: Ту-134, Ту-154, Ту-144, Ту-204, Ту-334, Ил-86, Ил-96, В-707, В-727, В-737, В-747, А-300, А-310, А-320 и др.

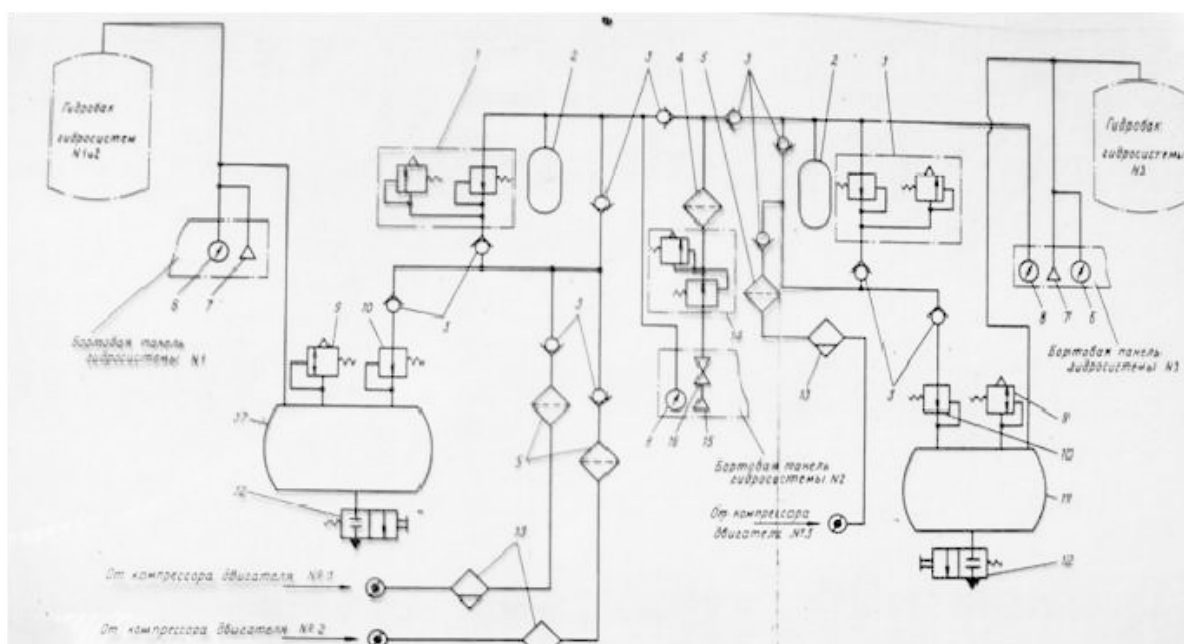


Рисунок 4 - Пример системы наддува гидробаков открытого типа с баллоном воздуха высокого давления, применяемой на самолёте Ту-154 [1].

1-регулятор давления, 2-воздушный баллон, 3-обратный клапан, 4-воздушный фильтр, 5- воздушный фильтр, 6-манометр, 7-клапан сброса давления, 8-манометр, 9-предохранительный клапан, 10-регулятор давления, 11-дренажный бак ГС №3, 12-сливной кран, 13-влажготделитель, 14-редуктор, 15-бортовой зарядный штуцер, 16-запорный клапан, 17-дренажный бак ГС №1 и №2.

**Гидробаки закрытого типа** в отличие от гидробаков открытого типа не имеют прямого контакта жидкости с воздухом или азотом благодаря наличию подвижного разделительного поршня, наиболее часто применяемого на манёвренных ( F100-105, F111, Ягуар, Су, МиГ, беспилотные ЛА и др.) и некоторых пассажирских (L-1011, DC-9, DC-10 и др.) самолётах, или гибкой мембраны (металлического силфона, как, например, на Конкорде).

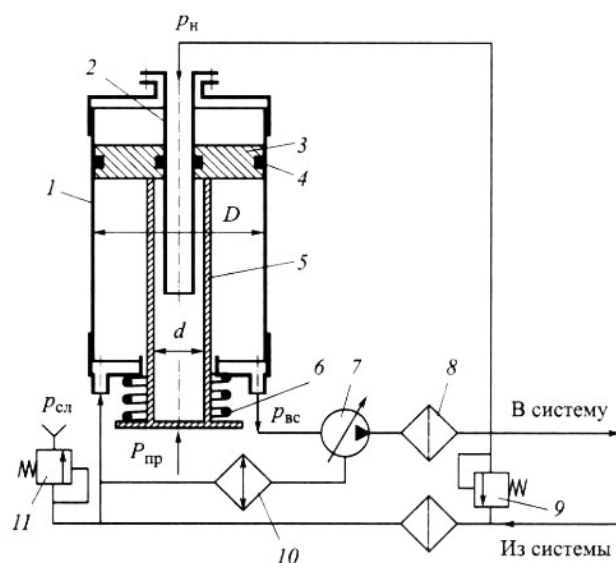


Рис. 5. Схема блока питания ГС с гидробаком закрытого типа [2].

1-корпус, 2-неподвижный блок, 3-поршень, 4-уплотнение, 5-подвижный блок, 6-пружина, 7-насос, 8-фильтр, 9-предохранительный клапан (ПК) линии нагнетания, 10-теплообменник, 11-ПК линии слива из корпуса бака.

Гидробаки закрытого типа позволяют повысить ресурс рабочей жидкости и её жёсткость из-за существенного уменьшения в ней количества растворимого воздуха или газа, позволяют применить вакуумирование рабочей жидкости при её заправке в ГС. Гидробаки закрытого типа имеют меньшие габариты, не критичны к пространственному расположению, не критичны к перегрузке, имеют более простую систему наддува. Однако имеют много подвижных частей, сложнее в изготовлении, имеют ограниченный ресурс, меньшую по сравнению с баками открытого типа надёжность.

На рис. 5 представлен пример схемы блока питания ГС с гидробаком закрытого типа. В этой схеме имеется пружина 6, взаимодействующей с подвижным штоком 5. Усилие  $P_{пр}$  сжатой пружины обеспечивает необходимое давление всасывания  $p_{вс} = 4P_{пр} / \pi(D^2 - d^2)$  на входе в насос при запуске двигателя самолёта. После запуска давление всасывания обеспечивается в основном за счёт поддавливания рабочим давлением  $p_n$  гидросистемы в соответствии с соотношением

$$p_{вс} = \frac{p_n d^2}{D^2 - d^2} + \frac{4P_{пр}}{\pi(D^2 - d^2)}, \quad (1)$$

где второе слагаемое может работать или не работать после запуска двигателя в зависимости от предъявляемых требований конструктора. На рис. 6 представлена конструктивная схема гидробака закрытого типа.

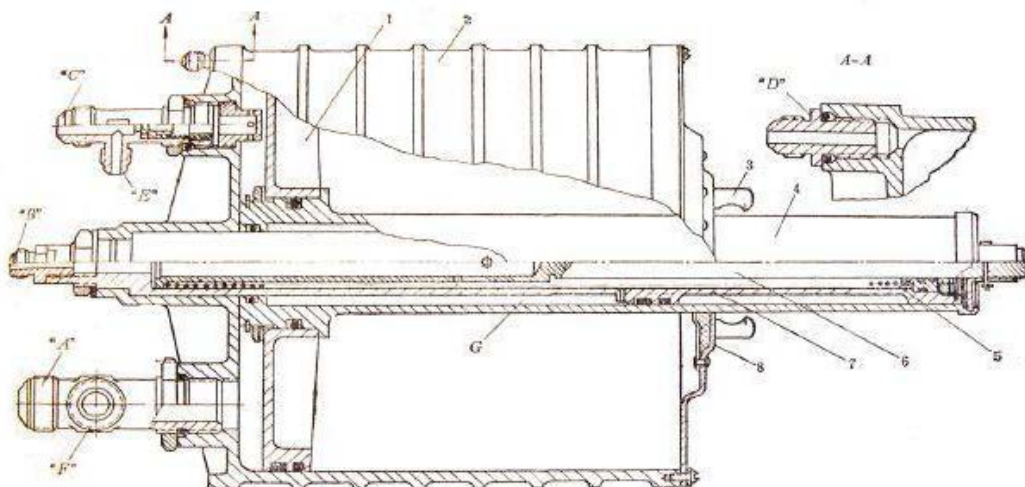


Рисунок 6 - Конструктивная схема гидробака закрытого типа [4].

1-поршень, 2-корпус, 3- , 4-шток, 5-пружина, 6-направляющая внутренняя, 7-поршень поддавливания с направляющей внешней, 8-уплотнение, АА-штуцер стравливания воздуха, В-штуцер линии нагнетания ГС, С и Е-штуцера линии слива ГС, А и F-штуцера линии всасывания ГС, G-полость поддавливания поршня с давлением  $p_n$ .

Расчёт основных геометрических размеров гидробака открытого типа  
(рис. 7.).

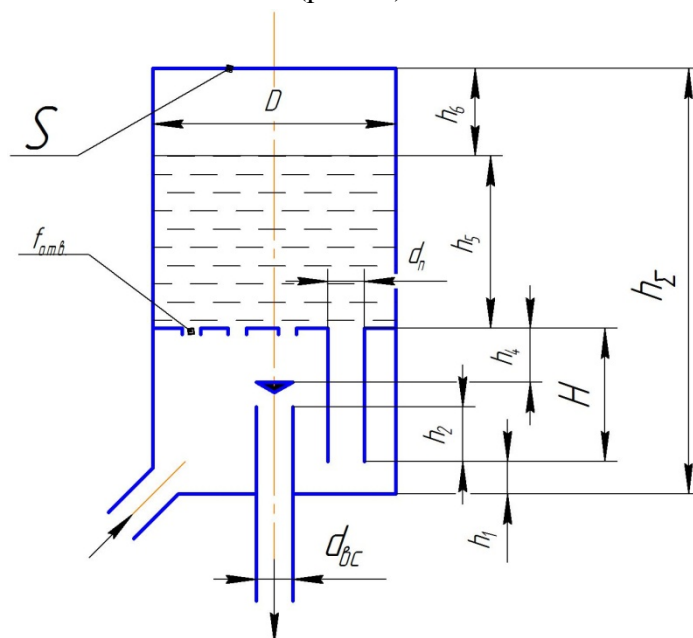


Рисунок 7 - Расчётная схема простейшего гидробака открытого типа для определения его основных геометрических размеров.

Высота  $h_1$  определяется свободным протеканием жидкости между патрубком и дном бака. Площадь  $F_{кщ}$  кольцевой щели должна быть  $\geq$  площади  $F_{вс}$  всасывающего патрубка, тогда

$$\pi d_n h_1 \geq \frac{\pi d_{вс}^2}{4}, h_1 \geq \frac{d_{вс}^2}{4 d_n} \quad (2)$$

1. Высота  $h_2$  необходима при отрицательной перегрузке по оси  $y$ . При  $\Delta n_y < 0$  в  $h_1$  находится газ, а жидкость под действием  $\Delta n_y < 0$  будет перетекать через перфорированную перегородку в верхнюю часть бака. Объём перетечек жидкости  $V_{пер} = Q_{пер} t_{-\Delta n_y}$ , где  $Q_{пер}$  - расход жидкости через  $n$  отверстий перфорации в перегородке в течение времени  $t_{-\Delta n_y}$  действия отрицательной перегрузки.

$$Q_{пер} = \mu n f_{отв} \sqrt{2 \Delta n_y H}, h_{пер} = \frac{V_{пер}}{S} \quad (3)$$

В большинстве конструкций гидробаков разделительная перегородка выполняется без перфорации, а для удаления воздуха (газа) используется противоперегрузочный клапан и в этом случае  $Q_{пер} = 0$ .

Необходимо учитывать уход жидкости из бака при работе агрегатов с дифференциальными площадями поршней гидроцилиндров, например, шасси, интерцепторов и т.д.

$$V' = V_{д.а} \frac{t_{-\Delta n_y}}{t_{д.а}}, \quad (4)$$

где  $V'$  - объём жидкости, забираемый из бака при работе дифференциальных агрегатов во время действия отрицательной перегрузки,  $V_{д.а}$  - объём жидкости, необходимый для выполнения полного цикла движения дифференциального агрегата за время  $t_{д.а}$ ,  $t_{-\Delta n_y}$  - время действия отрицательной перегрузки.

$$h' = \frac{V'}{S}.$$

Необходимо не допускать всасывания воздуха (газа) в магистраль питания насоса при максимально близком положении уровня жидкости к всасывающему патрубку и предусмотреть запас высоты на воронкообразование  $h_{вор}$ :

$$h_2 = h_{пер} + h' + h_{вор}. \quad (5)$$

Целесообразно конструктивно не допускать перетечек жидкости через противоперегрузочную перегородку и тогда  $h_{пер} = 0$ .

2.  $h_3$  – высота всасывающего диффузора

$$F_{вс.д} \cdot F_{вс}, \pi d_{вс.д} h_3 \cdot \frac{\pi d_{вс}^2}{4}, h_3 \cdot \frac{d_{вс}^2}{4 d_{вс.д}}. \quad (6)$$

3. После окончания действия отрицательной перегрузки придонный воздушный пузырь перемещается под противоперегрузочную перегородку, занимая высоту  $h_{в.л}$ , и удаляется в верхнюю часть бака через отверстия в ней. Засасывание воздуха и образования воронки не должно происходить. Дефлектор улучшает условия всасывания жидкости, уменьшает вероятность образования воронки (необходимая величина  $h_в$  уменьшается) и засасывания воздуха:

$$H_4 = h_{в.л} + h_в = (h_1 + h_{пер} + h') + h_в. \quad (7)$$

4.  $h_5$  - для компенсационного запаса жидкости.

Компенсация объёма жидкости для работы агрегатов с дифференциальными площадями поршня гидроприводов -  $h'$ .

Компенсация температурного расширения жидкости:

$$\Delta V_t = V_{t_{\min}^0} - V_{t_{\max}^0}, V_t = V_{t=0^0 C} (1 + \alpha t + \alpha^2 t^2), h_t = \frac{\Delta V_t}{S}. \quad (8)$$

Компенсация изменения объёма жидкости при изменении давления от  $p_{атм}$  до  $p_{ном}$ .  $\Delta V_{сж} = V_{p_{атм}} - V_{p_{ном}}$ . При этом учитывается объём жидкости в магистралях и агрегатах высокого давления.

$$V_p = V_{p_{атм}} (1 - \beta \Delta p), \Delta V_{сж} = V_{p_{атм}} \beta \Delta p, h_{сж} = \frac{\Delta V_{сж}}{S}. \quad (9)$$

Компенсация ошибки уровнемера, которая зависит от типа прибора и может достигать несколько процентов от измеряемого объёма:

$$h_{ур} = \frac{\Delta V_{ур}}{S}.$$

Компенсация ошибки заправки жидкости в бак. Зависит в основном от «человеческого фактора», задаваясь  $\pm \Delta V_{запр}$  объёмом жидкости, заправляемым в бак ошибочно, получим

$$h_{запр} = \frac{\Delta V_{запр}}{S}.$$

Компенсация внешних утечек жидкости по всем подвижным и неподвижным уплотнениям во всей гидросистеме в целом во время полёта и

стоянки самолёта, которая регламентируется Руководством по эксплуатации самолёта и может составить суммарный объём жидкости  $\Delta V_{ym}$ , тогда

$$h_{ym} = \frac{\Delta V_{ym}}{S}.$$

Интегральный уровень жидкости в баке над противоперегрузочной перегородкой составит

$$h_5 = h' + h_t + h_{сж} + h_{yp} + h_{запр} + h_{ym}. \quad (10)$$

5. Газовая полость  $V_{газ.п}$  над максимальным уровнем жидкости обычно составляет  $\sim 10 \div 15\%$  от общего объёма жидкости в баке. При этом система наддува баков гарантирует поддержание необходимого давления в баках при возникновении 3-х последовательных отказов в системе наддува.

$$h_{газ.п} = h_6 = \frac{V_{газ.п}}{S}.$$

6. Суммарная высота  $h_{\Sigma}^{откр}$  гидробака открытого типа составляет

$$h_{\Sigma}^{откр} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 \quad (11)$$

7. Соотношение диаметра  $d$  и высоты  $h$  (принимая для упрощения написания выкладок  $h = h_{\Sigma}^{откр}$ ) гидробака открытого типа влияет на массу тонкостенной оболочки [3], которая по прочности должна выдерживать давление наддува, и выбирается обычно по компоновочным соображениям и минимуму массы  $m$ . Приняв необходимый общий объём бака за  $V$ , запишем:

$$V = \pi d^2 h / 4$$

и общая площадь  $A$  внешней оболочки гидробака

$$A = A_{цилиндра} + 2S_{дна} = \pi d h + 2\pi d^2 / 4 = 4V/d + \pi d^2 / 2. \quad (12)$$

Графически эти зависимости представлены на рис. 8.



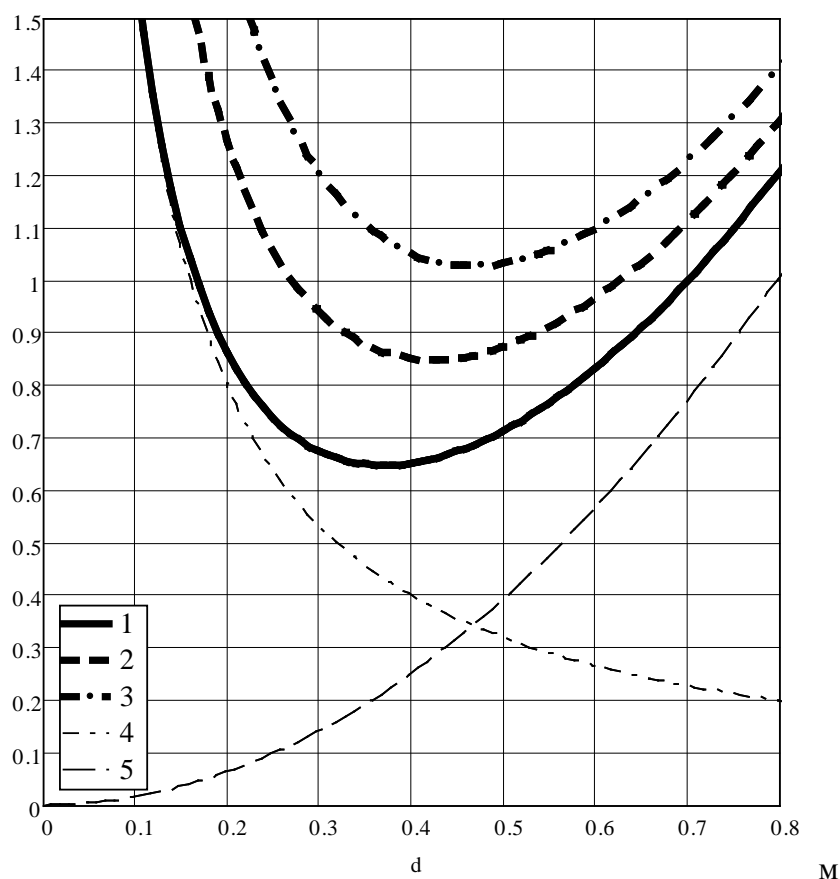


Рис.8. Зависимость площади  $A$  поверхности оболочки ГБ от его диаметра  $d$  при различных его объёмах  $V=Const$ .

1 – площадь  $A_1$  при  $V_1=40$ л; 2- площадь  $A_2$  при  $V_2=60$ л; 3- площадь  $A_3$  при  $V_3=80$ л; 4- площадь донных частей бака  $\pi d^2/2$  при  $V_1$ ; 5- площадь цилиндрической части бака  $4V/d$  при  $V_1$ .

При одинаковой толщине стенки оболочки ГБ для цилиндрической части и дна и крышки зависимости площади от диаметра могут быть пропорционально преобразованы в зависимости массы гидробака от его диаметра, имеющую вполне определённый минимум при  $d_{opt}$ . При проектировании гидробака предпочтительно выбирать его диаметр вблизи  $d_{opt}$ , если позволяют компоновочные условия в данном отсеке самолёта.

**Расчёт основных геометрических размеров гидробака закрытого типа** существенно упрощается, благодаря отсутствию противоперегрузочной камеры, отсутствию открытого уровня жидкости и возможности образованию воронки, отсутствию крупных объёмов газа. Высота ГБ в основном определяется ходом поршня, который составляет

$$h_{\Sigma}^{закр} = h' + h_t + h_{сж} + h_{ур} + h_{запр} + h_{ум} \ll h_{\Sigma}^{откр} \quad (13)$$

### Список литературы

1. Волошин Ф.А., Кузнецов А.Н., Покровский В.Я., Соловьев А.Я. Самолёт Ту-154. Конструкция и техническое обслуживание: учеб. пособие : в 2 кн. М.: Машиностроение, 1975. Кн. 1. 291 с.; Кн. 2. 250 с.
2. Системы оборудования летательных аппаратов / Под ред. А.М. Матвеевко и В.И. Бекасова. М.: Машиностроение, 1995. 368 с.
3. Шумилов И.С. Системы управления рулями самолётов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 472 с.
4. Wang Zhanlin, Li Peizi. Airplane Fluid Drive and Servocontrol. China National Defense Industry Press, 1980.

**Units for storing liquids in aviation hydraulic systems.**

# 12, December 2012

DOI: **10.7463/0113.0513812**

Shumilov I.S., Solotnikov N.P., Vinogradova T.G.

Russia, Bauman Moscow State Technical University

Tupolev JSC

[shumilov-it@yandex.ru](mailto:shumilov-it@yandex.ru)

This article presents schema and constructions of hydraulic tanks of open and closed types used in passenger and maneuverable aircraft. The authors propose a technique of calculation of the necessary volume of fluid for hydraulic tanks of open and closed types; this method takes into account all flight regimes, including flights with a negative overload. The design procedure of the tank geometry which would have an optimal weight is also presented in the article, along with the scheme of open type tank pressurization with high-pressure dry air and reserve pressure boost from the cabin air-conditioner, the scheme of connection and design of the vent tank.

---

**Publications with keywords:** [aircraft](#), [hydraulic tank](#)**Publications with words:** [aircraft](#), [hydraulic tank](#)

---

## References

1. Voloshin F.A., Kuznetsov A.N., Pokrovskii V.Ia., Solov'ev A.Ia. *Samolet Tu-154. Konstruktsiia i tekhnicheskoe obsluzhivanie : v 2 kn.* [Aircraft Tu-154. Construction and maintenance : in 2 vols.]. Moscow, Mashinostroenie, 1975, vol. 1. 291 p.; vol. 2. 250 p.
2. Matveenko A.M., Bekasov V.I. *Sistemy oborudovaniia letatel'nykh apparatov* [Systems of equipment of flying vehicles]. Moscow, Mashinostroenie, 1995. 368 p.
3. Shumilov I.S. *Sistemy upravleniia ruliami samoletov* [The control systems of the rudders of aircraft]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2009. 472 p.
4. Wang Zhanlin, Li Peizi. *Airplane Fluid Drive and Servocontrol*. China National Defense Industry Press, 1980.