

# ГИБКИЕ ВОЗДУХОВОДЫ КАК ГЛУШИТЕЛИ ШУМА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ

## FLEXIBLE DUCTS AS SILENCERS VENTILATION SYSTEMS

В.П. Гусев, М.Ю. Лешко, (НИИСФ РААСН)

V.P. Gusev, M.Y. Leshko, (NIISF RAACS)

*Рассматриваются акустические возможности каркасных и бескаркасных воздуховодов как глушителей аэродинамического шума и их недостатки.*

*Abstract: acoustic features and frameless duct silencers as aerodynamic noise, and their shortcomings*

В практике проектирования и эксплуатации вентиляционных систем в жилых и общественных зданиях в последнее время нашли широкое применение так называемые гибкие воздуховоды. Они располагаются, как правило, в подпотолочном пространстве основных и вспомогательных помещений (между плитой перекрытия и подвесным потолком) и устанавливаются на концевых участках вентиляционных сетей, соединяя металлические воздуховоды и воздухораспределительные или воздухозаборные устройства (например, решетки). Их преимущество перед металлическими воздуховодами в простоте и удобстве монтажа. Недостаток - более низкая звукоизолирующая способность стенок, вследствие чего часто возникают проблемы. В подпотолочных пространствах возникает повышенный шум, который через конструкции подвесных потолков или через отверстия для светильников проникает в помещения. Такие ситуации встречаются весьма часто при решении практических задач борьбы с шумом оборудования указанных систем, причем на действующих объектах.

Интерес к гибким воздуховодам продиктован их акустическими свойствами. Наличием этих свойств объясняется использование таких воздуховодов в качестве концевых глушителей аэродинамического шума, распространяющегося от источников в обслуживаемые указанными системами помещения. Вместе с тем, информация об акустических возможностях гибких воздуховодов в зарубежных и отечественных источниках противоречивая и вызывает сомнение, что, в конечном счете, стало причиной наших экспериментальных исследований.

Гибкие воздуховоды подразделяются на каркасные и бескаркасные (эластичные) из синтетических материалов, если не считать воздуховоды из гофрированной фольги.

**Гибкие каркасные воздуховоды (ГКВ)** для механической прочности монтируются на каркасе из металлической спирали. При транспортировке они сжаты по продольной оси, а при монтаже в месте установки – растянуты на необходимую длину (в пределах длины наружного и внутреннего покрытия). Эти воздуховоды могут быть со звукопоглощением

или без него. Со слоем звукопоглощающего материала (ЗПМ) они представляют собой трехслойную конструкцию. Их внутренний и внешний слои состоят из синтетического материала с алюминиевой фольгой, а средний слой – из супертонкого минерального волокна, например, из базальтового, с толщиной слоя 25 мм. Защитное покрытие внутреннего слоя может иметь перфорацию. Размер отверстий могут составлять десятые доли миллиметра, а шаг 10-20 мм. Необходимую герметичность воздухопроводов обеспечивает наружное покрытие. Каркасные воздухопроводы без звукопоглощения имеют только один наружный слой.

**Гибкие бескаркасные воздухопроводы (ГБВ)** соответственно не имеют каркаса. Это, прежде всего, гибкие эластичные или металлические гофрированные воздухопроводы. Основой эластичных воздухопроводов может быть вспененный полиэтилен, на внешнюю и внутреннюю поверхности которого для прочности и герметичности нанесено алюминиевое покрытие. Такой материал получил название «Пенофол». Отечественный производитель пенофола (завод «ЛИТ») провел испытания и предлагает его использовать для изготовления прямых участков, плавных поворотов воздухопроводов, фасонных и других элементов вентиляционных систем.

Акустические испытания проводились на универсальном (аэроакустическом) стенде института [1] стандартным методом. Испытывались образцы круглых гибких каркасных и бескаркасных воздухопроводов.

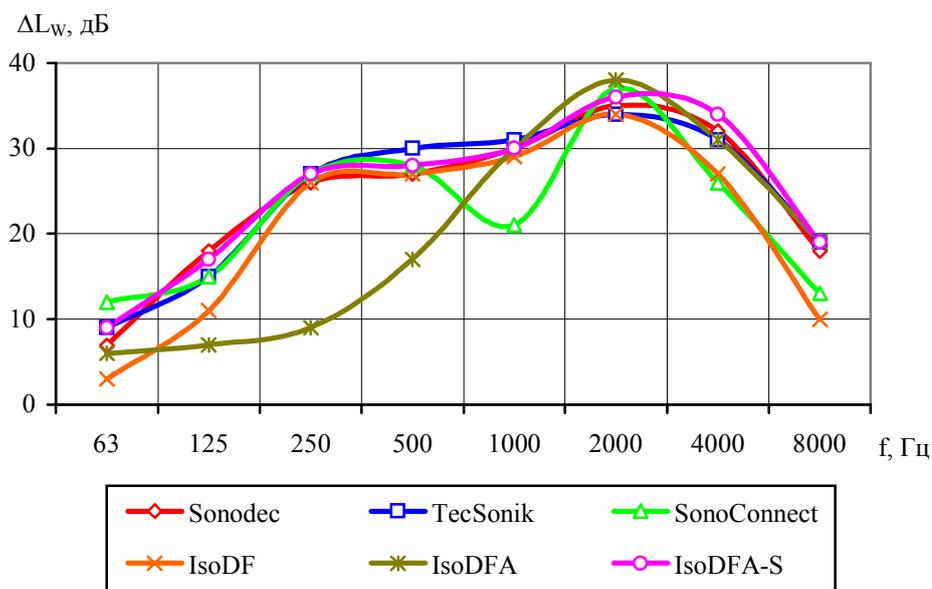
Изготовители каркасных воздухопроводов со звукопоглощающим слоем, таких как TecSonik, Sonodec, SonoConnect, - зарубежные фирмы (Англии, Голландии), а таких как IsoDF, IsoDFA, IsoDFA-S, - отечественные производители (IsoDFA-S с перфорацией на внутреннем защитном покрытии, как у воздухопроводов зарубежных фирм). Толщина слоя ЗПМ в воздухопроводах со звукопоглощением 25 мм. Внутренний диаметр испытываемых воздухопроводов 200 мм, длина активной части от 1 м до 3 м.

Изготовитель круглых эластичных воздухопроводов из отечественного материала типа «Пенофол–AIR» - завод «ЛИТ». Толщина стенок воздухопроводов 8 мм и 16 мм, внутренний диаметр 100, 125, 150, 160, 200, 250, 315 мм, длина 1 м. Для сравнительного анализа акустических качеств в объем этих испытаний был включен гофрированный алюминиевый воздухопровод типа Isodec внутренним диаметром 200 мм.

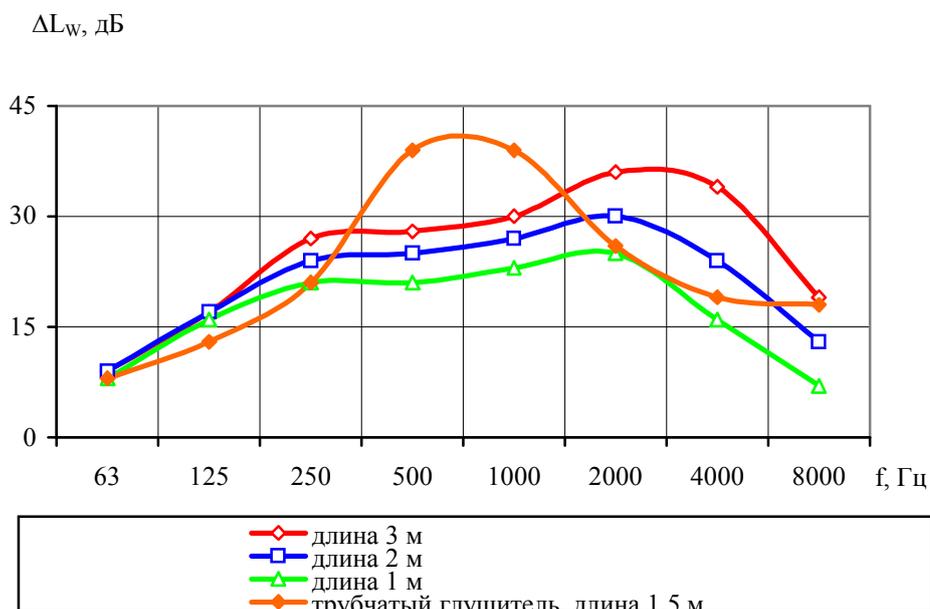
Основные результаты испытаний:

1. Акустические качества ГKB со звукопоглощением весьма значительные в широком диапазоне частот, особенно при длине 3 м (рис.1). В диапазоне низких частот октавные значения снижения уровня шума составляют 3-12 дБ, а в диапазоне самых высоких частот 10-20 дБ. На средних и частично высоких частотах (до 1000 Гц) эффективность ГKB мало зависит от конструкции и составляет 27-30 дБ. Исключение составляют акустическая характеристика воздухопровода типа SonoConnect, имеющая провал в октавной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц. Максимальные значения снижения уровня шума у воздухопроводов

всех конструкций наблюдаются в одной октаве (2000 Гц) и находятся в пределах от 28 до 38 дБ.



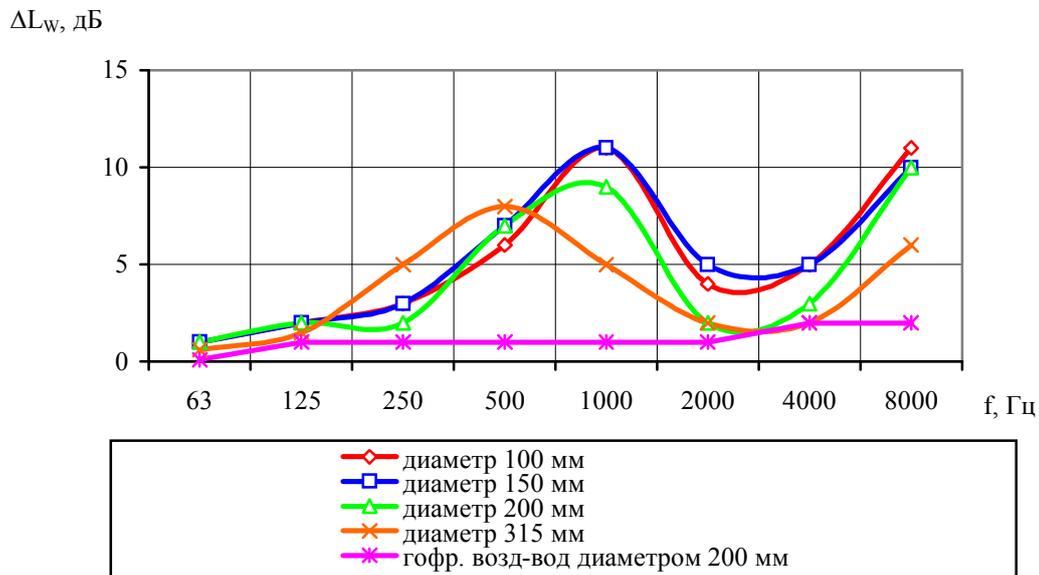
**Рис.1 - Снижение уровней шума в ГКВ со звукопоглощением длиной 3 м**



**Рис. 2 - Зависимость акустической эффективности гибкого воздуховода типа IsoDFA-S от длины**

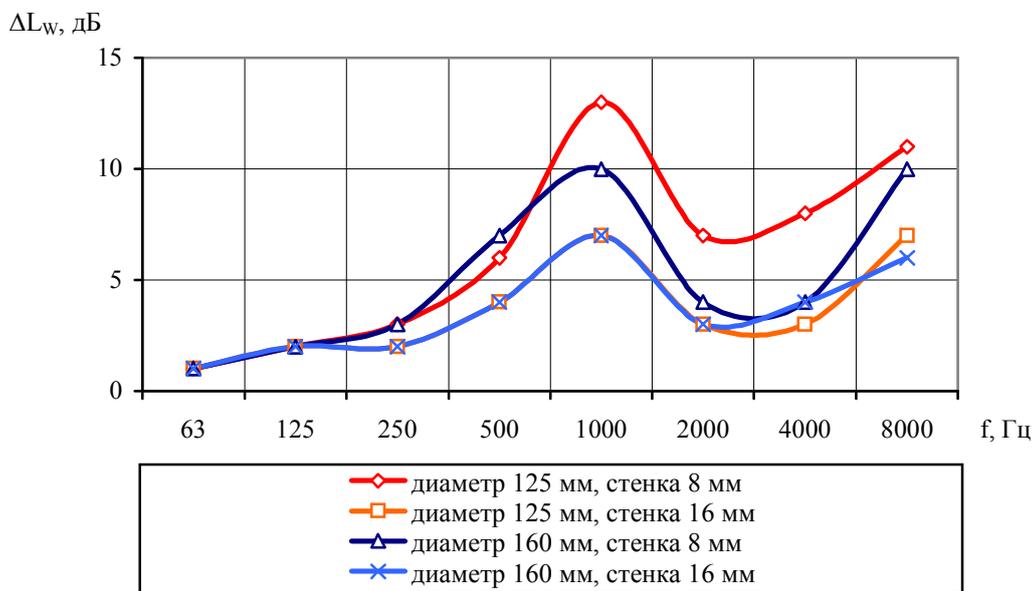
2. При уменьшении длины ГКВ (с 3-х до 1 метра) величина снижения шума в диапазоне низких частот остается практически неизменной и существенно уменьшается с ростом частоты. В качестве примера акустические характеристики отечественного воздуховода типа IsoDFA-S в зависимости от длины представлены на рис.2. Там же для сравнения приведена эффективность трубочатого глушителя, длина активной части

которого 1,5 м, а толщина слоя ЗПМ 100 мм. Видно, что акустические эффективности гибкого каркасного воздуховода длиной 3 м и трубчатого глушителя сопоставимы.



**Рис. 3 - Снижение уровней шума в воздуховодах из пенофола длиной 1 м и толщиной стенки 8 мм**

3. Акустическая эффективность гибких бескаркасных воздуховодов выше, чем у алюминиевого гофрированного воздуховода, но значительно ниже, чем у каркасных воздуховодов (рис.3). При этом максимум снижения шума перемещается в октавную полосу со среднегеометрической частотой 1000 Гц, а на ее частотной характеристике появляется провал в диапазоне высоких частот (2000, 4000 Гц). Увеличение диаметра воздуховода мало влияет, а увеличение толщины стенки воздуховода с 8 мм до 16 мм приводит к снижению акустической эффективности (рис. 4). Последний факт дает основание предположить, что за счет увеличения толщины стенки повысилась звукоизоляция, т.е. повысилась доля отраженной звуковой энергии внутрь воздуховода, соответственно распространяющейся по нему в измерительную камеру.



**Рис. 4 - Снижение уровней шума в воздуховодах из пенофола длиной 1 м и толщиной стенки 8 и 16 мм**

Поскольку гибкие воздуховоды используются как глушители, эксплуатирующиеся в динамическом режиме (в потоке воздуха), их следует характеризовать не только величиной снижения шума, но и величиной шумообразования, зависящего от скорости потока и шероховатости поверхности стенок канала, которая у гибких воздуховодов выше, чем у металлических воздуховодов. При равных скоростях потока в тех и других, в гибких воздуховодах могут быть более высокие гидравлические потери и, как следствие, более высокое шумообразование. Величина абсолютной шероховатости воздуховода связана с линейным коэффициентом сопротивления трения, который соответствует коэффициенту местного сопротивления.

Для определения коэффициента сопротивления трения и величины генерируемого аэродинамического шума проводились комплексные аэроакустические испытания. Испытывались три типа воздуховодов:

- эластичные из пенофола;
- алюминиевые гофрированные;
- гибкие воздуховоды типа «Sonodec».

Внутренний диаметр воздуховодов 100 мм, длина от 1 м до 3 м. Скорость потока воздуха в них изменялась от 3 до 18 м/с (ступенчато с шагом 3 м/с).

Генерируемый участками таких воздуховодов шум измерялся в реверберационной камере. По измеренным уровням звукового давления по стандартной методике определялись уровни звуковой мощности этого шума. Одновременно измерялись потери давления на трение ( $R$ ), как разность на входе и выходе из воздуховода и по тарированному коллектору определялся динамический напор ( $\Delta p_{колл}$ ), и скорость потока воздуха. По результатам измерений  $R$  и  $\Delta p_{колл}$  для участка круглого воздуховода длиной 1 м определялся линейный коэффициент сопротивления трения  $\Lambda$  по формуле [3,4]:

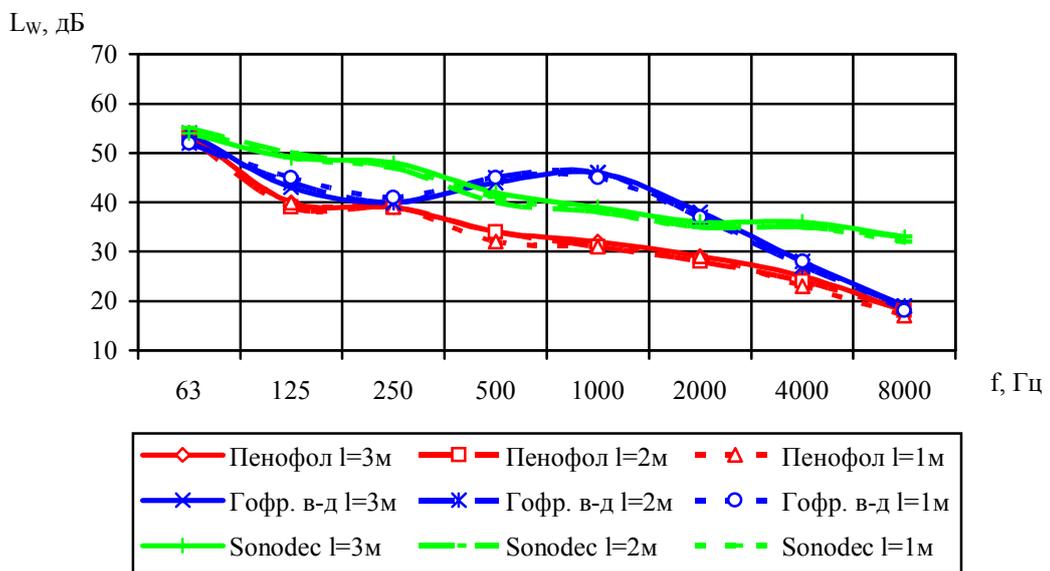
$$\Lambda = \frac{Rd}{l} \frac{2g}{v^2 \gamma}, \quad (1)$$

где  $d$  - диаметр воздуховода, м;  $l$  - длина воздуховода, м;  $v$  - скорость потока воздуха в воздуховоде, м/с;  $\gamma$  - объемная масса воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $g = 9,81 м/с^2$  - ускорение свободного падения.

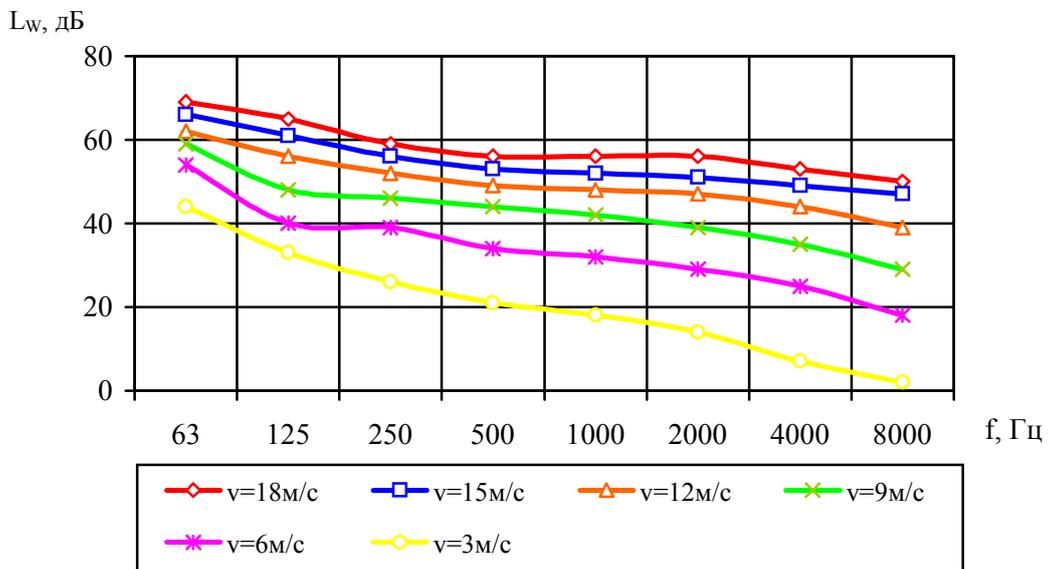
Значения линейных коэффициентов сопротивления трения составили для воздуховода из пенофола – 0,0386, для гофрированного гибкого воздуховода – 0,0498, для воздуховода типа «Sonodec» - 0,1002.

Как видно, линейный коэффициент сопротивления трения воздуховодов из пенофола самый низкий из рассмотренных образцов, правда, он почти вдвое превышает значение  $\Lambda$  для гладкой круглой стальной трубы, равное 0,02 [3,4]. Наименьшему, по сравнению с другими, сопротивлению трению в воздуховоде из пенофола, должно соответствовать и наименьшее шумообразование. Данное умозаключение иллюстрируют результаты испытаний, приведенные на рис. 5 и 6.

На указанных рисунках, кроме того, видно, что в ограниченном диапазоне изменения длин испытанных воздуховодов (от 1 до 3 м) генерируемый в них шум практически не зависит от их длины. Объясняется это тем, что фиксируется только шум, генерируемый конечным участком (длиной около 1 м), шум начальных участков снижается на пути распространения по воздуховоду (глушителю).



**Рис.5 - Уровни генерируемого шума воздуховодами разной длины при скорости потока 6 м/с**



**Рис. 6 - Уровни генерируемого шума воздуховодом из пенофола длиной 3 м в зависимости от скорости потока**

Экспериментальные акустические данные (уровни звуковой мощности в октавных полосах частот), полученные для воздуховодов диаметром 100 мм, могут быть пересчитаны для воздуховодов других поперечных размеров по формуле, полученной из выражений для определения суммарной звуковой мощности, генерируемой элементами вентиляционных сетей [5]:

$$L_W = L_{W_{обр}} + 10 \lg \frac{S}{S_{обр}}, \quad (2)$$

где  $L_{W_{обр}}$  - уровни звуковой мощности испытанного образца воздуховода, дБ;

$S, S_{обр}$  - площади поперечного сечения испытанного образца воздуховода и любого другого, м<sup>2</sup>.

В целом по результатам испытаний отметим следующее:

1. Гибкие каркасные воздуховоды со звукопоглощением по акустическим качествам могут быть вполне пригодны для использования на конечных участках вентиляционных сетей для снижения аэродинамического шума дросселей и другой регулирующей поток арматуры. Ограничением для этого является высокое гидравлическое сопротивление (из-за повышенной шероховатости по сравнению с металлическими воздуховодами) и, соответственно, высокая генерация аэродинамического шума, а также относительно низкая звукоизоляция стенок.

2. Акустические качества гибких бескаркасных воздуховодов из пенофола существенно ниже, чем у каркасных. При этом они имеют невысокую шероховатость, а потери давления и генерируемый в них шум ниже на соответствующих скоростях потока.

3. Акустические характеристики гибких воздуховодов, включающие величину снижения и генерации шума, дают возможность прогнозировать акустические ситуации и проектировать оптимальные (с точки зрения акустики и экономики) средства снижения шума систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

Надеемся, что представленные материалы не останутся без внимания специалистов-акустиков и проектировщиков.

### *Литература*

1. В.П.Гусев, М.Ю.Лешко. К вопросу об аэроакустических испытаниях вентоборудования. // АВОК. 2002. №2. С. 75.
2. В.П.Гусев, М.Ю.Лешко. Оценка аэродинамического шума элементов вентиляционных систем. // АВОК. 2002. №5. С. 50-52.
3. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: «Машиностроение», 1975. 559 с.
4. Справочник проектировщика. Вентиляция и кондиционирование воздуха. // Под ред. Старовойрова И.Г. М.: Стройиздат. 1977. 502 с.

5. Гусев В.П., Лешко М.Ю., Пестерева М.Ю. Генерация аэродинамического шума в элементах систем вентиляции. //АВОК. 2006. № 3. С. 70–74.

*Ключевые слова: гибкие каркасные и бескаркасные воздуховоды, звукопоглощение, акустическая эффективность, шумообразование, гидравлические потери*

*Keywords: flexible frame and frameless ducts, sound absorption, acoustic performance, noise level, hydraulic losses*