

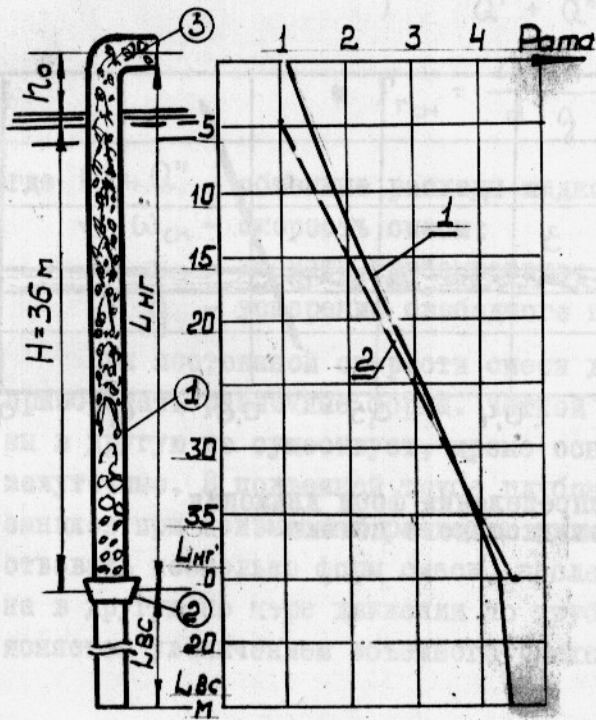
УДК 664.951.002.5

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ  
ЭРЛИФТНОЙ РЫБОЛОВНОЙ УСТАНОВКИ**

**В.М.Ковалев  
(ВНИРО)**

Эрлифтная установка для лова каспийской кильки на электросвет отличается от эрлифтных установок, применявшихся когда-либо в практике водоподъема, большим коэффициентом загрузки ( $n/\lambda = 0,92$ ) и большим диаметром пульпопровода ( $d = 150-200$ ) мм. Эти особенности определяют вид рабочих характеристик эрлифтной рыболовной установки.

Рассмотрим работу эрлифтной установки (рис.1).



**Рис.1. Распределение давления на внешней и внутренней стенках трубопровода**

При подаче воздуха в трубопровод (1) через форсунку (2) вода в трубопроводе насыщается пузырьками воздуха, объемный вес смеси становится меньше объемного веса жидкости и смесь, поднимаясь до уровня устья (3), изливается в приемное устройство. Смесь в трубе движется под действием градиента давления, обусловленного также разностью плотностей жидкости и смеси, при этом давление на внутреннюю стенку трубы почти на всей длине трубопровода превышает давление наружного столба воды. Ввиду значительной разности плотностей воды и воздуха при движении смеси, воздух движется с большей скоростью, чем жидкость, т.е. существует скольжение фаз, что повышает плотность смеси и, следовательно, уменьшает движущий градиент давления. Как показали многочисленные исследования, скорость скольжения для системы "вода-воздух" в диапазоне расходных параметров эрлифтной рыболовной установки изменяется в диапазоне (0,3-0,5 м/сек). Изменение скорости скольжения обусловлено существованием различных форм движения воздуховодяной смеси в подъемной трубе эрлифтной установки.

Визуальные наблюдения с использованием прозрачных труб и фотографирование движения смеси в вертикальной трубе позволяют выделить четыре основных формы этого процесса (рис.2).

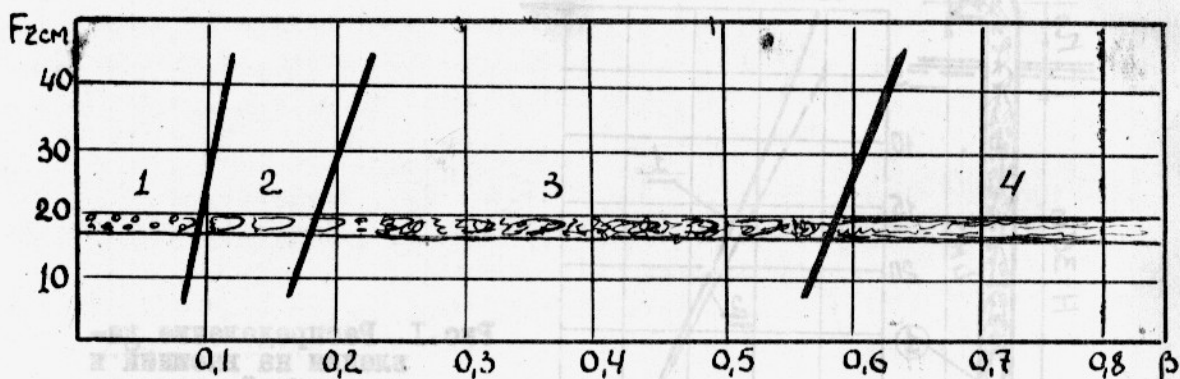


Рис.2. Диаграмма распределения форм движения воздуховодяющего потока

1. Пузырьковая форма. В потоке жидкости движутся пузырьки воздуха различного диаметра, причем воздух движется несколько быстрее жидкости.

2. Пробковая форма. В потоке смеси чередуются пробки воды и воздуха, причем средняя скорость движения воздуха превышает среднюю скорость движения воды вследствие торможения пленки жидкости о стенку трубы.

3. Пробково-эмульсионная форма. Пробки воды и воздуха дробятся и поток с включенными в него деформированными пробками воздуха приобретает эмульсионную структуру.

4. Стержневая форма. Вода отбрасывается к стенке, а воздух движется в центре, при этом скорость движения воздуха значительно превышает скорость движения воды.

Анализ расходных параметров двухфазного потока в вертикальной трубе позволил установить области существования отдельных форм. Как видно из рис.2, существование той или иной формы определяется расходным объемным воздухо содержанием  $\beta$  и критерием Фруда для смеси  $F_{r см}$  см.

При этом

$$\beta = \frac{Q''}{Q' + Q''} ; \quad (1)$$

$$F_{r см} = \frac{\omega_{см}^2}{d \cdot g} , \quad (2)$$

где  $Q'$  и  $Q''$  - объемные расходы жидкости и воздуха;

$\omega_{см}$  - скорость смеси;

$d$  - диаметр трубопровода;

$g$  - ускорение свободного падения.

При постоянной скорости смеси двухфазный поток может приобретать различные формы. Четкой границы перехода одной формы в другую не существует, кроме основных форм существуют промежуточные. В подъемной трубе глубоких воздухожидкостных подъемников при неизменных расходах жидкости и воздуха может существовать несколько форм смеси, последовательно переходящих одна в другую по мере движения по трубопроводу. Это явление объясняется увеличением объемного расходного воздухо содержания



с падением давления по высоте подъемной трубы. Расчет величин  $\beta$  и  $\Gamma_{r_{cm}}$  по данным, полученным на промышленных режимах работы рыболовной эрлифтной установки, показывает, что после форсунки поток смеси приобретает пробковую форму, в дальнейшем переходящую в пробково-эмульсионную, так как этим формам течения соответствуют наименьшие удельные сопротивления двухфазного потока, а следовательно, и возможно наибольшие подачи жидкости при данном расходе воздуха. Так как при переходе от начальных форм к конечным скорость скольжения увеличивается, то соответственно несколько снижается движущий градиент давления по сравнению с градиентом, определенным по расходам воды и воздуха.

Известно, что с увеличением подачи воздуха в форсунку эрлифтной установки подача воды вначале увеличивается, достигая максимума, а затем начинает уменьшаться. Из рис.3, на котором представлены характеристики эрлифтной рыболовной установки при различных коэффициентах погружения с диаметром трубопровода 150 мм, видно, что вначале темп прироста подачи жидкости достаточно высок, затем он значительно снижается, приближаясь к нулю в точке максимальной подачи жидкости. Такой ход рабочей характеристики определяется соотношением подъемных сил и сил сопротивления двухфазного потока. В начале с увеличением подачи воздуха и уменьшением плотности смеси подъемные силы увеличиваются быстрее сил сопротивления, в результате подача воды возрастает, затем увеличение подачи воздуха при одновременном увеличении подачи воды вызывает более быстрое возрастание сил сопротивления и рост подачи воды прекращается. Максимальная производительность насоса соответствует тому моменту, когда вызванный увеличением расхода воздуха прирост подъемных сил начинает перекрываться увеличением потерь давления на трение. В подъемной трубе эрлифтной рыболовной установки вследствие расширения воздуха по изотермическому закону при движении смеси к устью трубопровода по мере продвижения изменяются как подъемные силы, так и силы сопротивления. Таким образом, оценка величины удельной потери давления на трение при движении по трубопроводу важна при разработке оптимальных рабочих характеристик эрлифтной рыболовной установки. Полный перепад давления на единицу длины трубопровода складывается из следующих составляющих:

$$\Delta P_{\text{п}} = \Delta P_{\text{в}} + \Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{ус}} + \Delta P_{\text{м}}, \quad (3)$$

где  $\Delta P_{\text{в}}, \Delta P_{\text{тр}}, \Delta P_{\text{ус}}, \Delta P_{\text{м}}$  - удельный перепад давления от веса, на трение, на ускорение и на местных сопротивлениях потока соответственно.

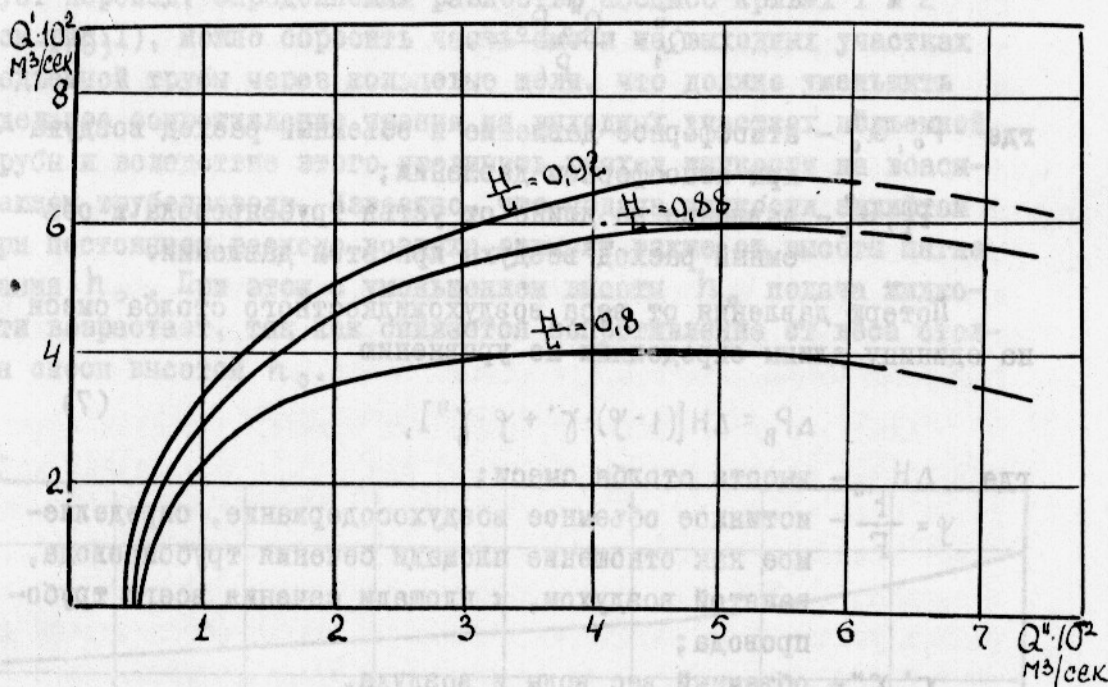


Рис.3. Рабочие характеристики эрлифтной рыболовной установки

Потери давления, связанные с ускоренным движением смеси, и потери на местных сопротивлениях составляют 2-3% от общего перепада.

Пренебрегая  $\Delta P_{\text{ус}}$  и  $\Delta P_{\text{м}}$ , получим

$$\Delta P_{\text{п}} = \Delta P_{\text{в}} + \Delta P_{\text{тр}}. \quad (4)$$

Решая (4) относительно  $\Delta P_{\text{тр}}$ , получим

$$\Delta P_{\text{тр}} = \Delta P_{\text{п}} - \Delta P_{\text{в}}. \quad (5)$$

Для режима работы эрлифтной рыболовной установки с параметрами  $Q' = 6,7 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{сек}$ ,  $Q'' = 5,6 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{сек}$ ,  $H = 36 \text{ м}$  было измерено давление в пяти точках двухфазного потока при помощи тензоманометров с интервалом 8 м. По данным измерений была построена кривая I на рис. I распределения давления по длине трубопровода. Наличие этой зависимости дает возможность определять объемный расход воздуха в любом сечении трубопровода по изотермическому закону расширения

$$Q_1'' = \frac{Q_0'' P_0}{P_1}, \quad (6)$$

где  $P_0, Q_0''$  - атмосферное давление и объемный расход воздуха при атмосферном давлении;

$P_1, Q_1''$  - давление на длине от устья трубопровода и объемный расход воздуха при этом давлении.

Потери давления от веса воздухожидкостного столба смеси на единицу длины определяли по уравнению

$$\Delta P_B = \Delta H [(1 - \gamma) \cdot \gamma' + \gamma \cdot \gamma''], \quad (7)$$

где  $\Delta H$  - высота столба смеси;

$\gamma = \frac{F''}{F}$  - истинное объемное воздухо содержание, определяемое как отношение площади сечения трубопровода, занятой воздухом, к площади сечения всего трубопровода;

$\gamma', \gamma''$  - объемный вес воды и воздуха.

Истинное объемное воздухо содержание определяли из уравнения

$$\gamma = B \cdot \beta, \quad (8)$$

где  $B$  - коэффициент, учитывающий скольжение фаз.

Так как форма течения двухфазного потока в подъемной трубе эрлифтной рыболовной установки переходит из пробковой в пробково-эмульсионную примерно на половине длины подъемной трубы, по данным А.А.Арманда, было принято для нижней половины трубы  $B = 0,9$ , а для верхней  $B = 0,8$ . Таким образом, определяя по кривой I  $\Delta P_B$ , а по уравнению -  $\Delta P_B$ , можно построить зависимость

$$\Delta P_{\text{тр}} = f(m).$$



Из рис.4, на котором графически представлены результаты определения  $\Delta P_{тр}$  по длине трубопровода, видно, что с ростом расстояния от форсунки удельная потеря давления на трение увеличивается сначала почти линейно, а затем в некоторой степени зависимости, принимая на выходе значения, в два раза большие значений  $\Delta P_{тр}$  на входе. В виду того что между давлением внутри трубопровода и давлением наружного столба существует перепад, определяемый разностью абсцисс кривых 1 и 2 (см.рис.1), можно сбросить часть смеси на выходных участках подъемной трубы через кольцевые щели, что должно уменьшить удельное сопротивление трения на выходных участках подъемной трубы и вследствие этого увеличить расход жидкости на всасывающем трубопроводе. Известно, что подача жидкости эрлифтом при постоянном расходе воздуха зависит также от высоты нагнетания  $h_0$ . При этом с уменьшением высоты  $h_0$  подача жидкости возрастает, так как снижается сопротивление от веса столба смеси высотой  $h_0$ .

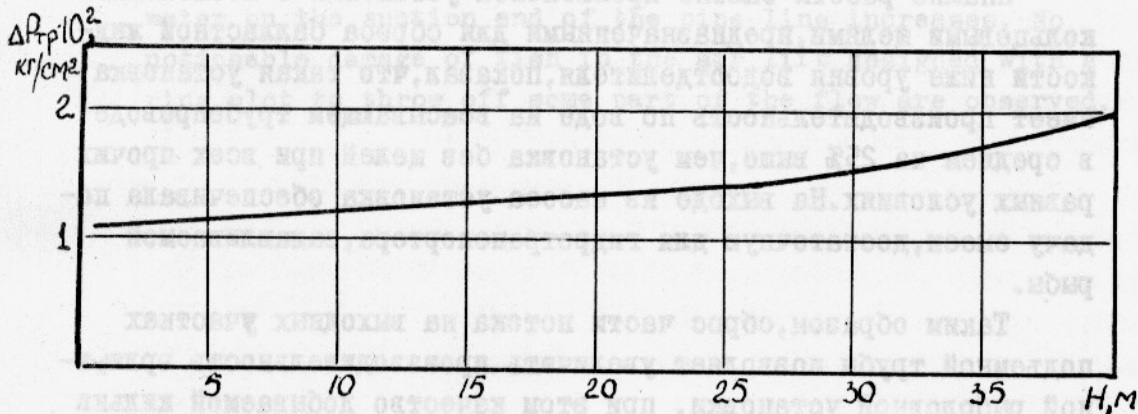


Рис.4. Распределение удельных потерь давления на трение по высоте подъемной трубы

При постоянном среднем истинном воздухосодержании на выходном участке трубопровода высотой  $h_0$  подача жидкости является функцией давления определяемого уравнением

$$P_B = h_0 (1 - \psi_{ср}) \cdot \gamma'$$

При сбросе жидкости через кольцевую щель будет увеличиваться  $\psi_{ср}$ , давление  $P_B$  уменьшаться, а подача жидкости на всасывающем трубопроводе - возрастать.

Испытания модели эрлифтной рыболовной установки в лабораторных условиях показали принципиальную возможность увеличить подачу жидкости на всасывающем трубопроводе за счет сброса части потока на выходных участках пульпопровода.

Поскольку назначение эрлифтной рыболовной установки залавливать и поднимать до уровня водоотделителя только рыбу, а не воду, можно сбрасывать значительное количество жидкости, так как средняя концентрация рыбы составляет 2%. Увеличение производительности эрлифтной установки по воде на всасывающем трубопроводе должно увеличить производительность установки и по рыбе. Известно, что при помощи эрлифтов добывают кильку более высокого качества, чем при помощи центробежных насосов, поэтому снижение качества рыбы в результате устройства кольцевых щелей было бы нежелательно. В первую очередь было проанализировано влияние сброса части потока через кольцевую щель на качество рыбы. При испытаниях эрлифтной установки с кольцевой щелью в промысловых условиях в течение восьми ночей повреждений рыбы не наблюдалось.

Анализ работы опытно-промысловой установки с несколькими кольцевыми щелями, предназначенными для сброса балластной жидкости ниже уровня водоотделителя, показал, что такая установка имеет производительность по воде на всасывающем трубопроводе в среднем на 25% выше, чем установка без щелей при всех прочих равных условиях. На выходе из насоса установка обеспечивала подачу смеси, достаточную для гидротранспортера, залавливаемой рыбы.

Таким образом, сброс части потока на выходных участках подъемной трубы позволяет увеличить производительность эрлифтной рыболовной установки, при этом качество добываемой кильки не снижается.

#### Л и т е р а т у р а

1. Арманд А.А. Исследование механизма движения двухфазной смеси в вертикальной трубе. Изв. ВТИ № 2, 1950.
2. Соколов И.М. О некоторых особенностях в работе рыболовных эрлифтов. Тр. КаспНИРО. Т. 1XXI, 1966.
3. Терентьев А.В. Гидравлическая механизация в рыбной промышленности. М., 1956.



THE INVESTIGATIONS OF HYDRAULIC RESISTANCE  
IN THE FISH AIR LIFT

V.M.Kovalev

S U M M A R Y

Basing on the investigations carried out on the forms of flows and specific friction resistance along the two-phase flow it is found that the decline in the pump stroke with some increase in the feed of air over the maximum feeding point is bound with an increase in the specific friction resistance in the outlet of the lift pipe. To reduce the pressure losses due to friction it is suggested to throw off some part of the flow (mainly the liquid phase) through a ring slot. It is found that the efficiency of the pump as to water on the suction end of the pipe line increases. No noticeable damage of fish in the air lift designed with a ring slot to throw off some part of the flow are observed.