

## БЕРЕЖНЫЙ ПРОМЫСЕЛ

# Выбор типа рыбонасосной установки для лова кильки на свет

на основе анализа ее повреждаемости в ходе промысла

Д-р техн. наук И.В. Никоноров, Б.С. Краковский – ВНИРО

**В** 50-е годы прошлого века впервые в практике рыболовства началось активное освоение лова каспийской кильки на подводный свет бессетевыми орудиями лова (Никоноров И.В. *Лов рыбы на свет*. М.: Рыбное хозяйство, 1963. 166 с.; Никоноров И.В. *Непрерывные способы лова рыбы*. М.: Пищевая промышленность, 1968. 103 с.). Всестороннюю проверку временем на промысле проходили орудия лова, при использовании которых применяется свет в качестве привлекающего рыбу фактора, – такие как конусная сеть, эжекторный (водоструйный) насос, эрлифт (воздушный насос) и центробежный рыбонасос (цбрн).

Практика показала, что при использовании перечисленных видов рыбонасосов только в случае применения цбрн образуется лопанец (еле заметный надрез в нежной брюшной части тела кильки), который практически не влияет на качество выпускаемой продукции. При этом количество лопанца зависит от сезона, глубины лова, физического состояния рыбы, высоты размещения цбрн над уровнем моря и достигает 30–40 % от общего количества гидротранспортируемой рыбы. При использовании водоструйного, эрлифтного рыбонасосов и даже конусной сети лопанец образуется в процессе дальнейшего хранения кильки, при посоле, дефростации и т.п.

Таким образом, в ходе добычи кильки любым орудием лова и дальнейшей ее технологической обработки избежать образования лопанца практически невозможно. При этом нужно обратить внимание на следующие положительные моменты: килька, имеющая лопанец, лучше и быстрее просаливается и при ее фасовании требуется меньшая по объему тара.

*Интересно отметить, что современный широкомасштабный морской промысел значительно более крупных рыб зачастую ведется на больших глубинах, чем это имеет место при добыче кильки. При этом наблюдаются более серьезные повреждения, но это также не является препятствием для выпуска первоклассной продукции.*

Сравнение эксплуатационных качеств бессетевых орудий лова на свет указывает на то, что и водоструйный, и эрлифтный рыбонасосы во много раз уступают цбрн по коэффициенту полезного действия  $h$ . Кроме того, компрессор эрлифтной установки создает в работе большой шум (инфразвук), вредный для здоровья команды.

В силу перечисленных причин наибольшую жизнеспособность доказали центробежные рыбонасосные установки, за что они и получили признание рыбаков. Поэтому ниже речь пойдет

только об установках этого типа, до сих пор широко используемых на Каспийском бассейне.

В период расцвета килечного промысла на его долю приходилось до 80 % общего улова по бассейну (Никоноров И.В., Никоноров С.И., Монаков В.Д. *История развития и совершенствования бессетевых (насосных) орудий лова*. // *Всероссийская научная конференция «Исторический опыт научно-промысловых исследований в России»*. М.: ВНИРО, 2002. С. 152–156). На промысле кильки рыбонасосами работало до 256 судов различного типа, специализированных по видам обработки.

С момента начала применения рыбонасосных установок и до настоящего времени существуют такие проблемы, как выяснение причин возникновения повреждений кильки в ходе ее гидротранспортирования по элементам рыбонасосной установки и освоение способов сведения этих повреждений к минимуму.

В данной статье предпринимается попытка объективно проанализировать весь комплекс факторов, влияющих на повреждаемость перекачиваемой рыбы. Имеются в виду качественные



**Наибольшее статическое давление рыба испытывает в нижней части закругленного участка, плавательный пузырь находится в максимально сжатом состоянии. На входе в цбрн наблюдается абсолютное статическое давление (разрежение), и плавательный пузырь достигает максимального объема. Происходит схлопывание, которое может привести к образованию лопанца.**

и количественные показатели, связанные с конструкцией рыбонасоса и способом его размещения (палубный или погружной), режимом его эксплуатации и глубиной лова.

Гидротранспортируемая с помощью цбрн рыба подвергается трем основным видам воздействия, которые могут привести к ее повреждению.

1. Быстрое уменьшение статического давления в гидротранспортной линии по мере продвижения водорыбной смеси от залавливающего устройства к приемному (всасывающему) патрубку цбрн и практически мгновенный скачок давления от минимального на входе в рабочее колесо до максимального – на выходе из него.

2. Ударное воздействие на рыбу конструктивных элементов цбрн.

3. Режим работы цбрн.

Рассмотрим эти виды по отдельности, имея в виду, что механизм гидротранспортирования рыбы в центробежной установке для лова кильки на свет принципиально ничем не отличается от такового в любой другой рыбонасосной установке, использующей цбрн. Отличия имеются лишь в деталях.

1. На рис. 1 представлена принципиальная эпюра избыточных статических давлений в надводной центробежной рыбонасосной установке для лова кильки на свет:

**I участок** – заглубление входной части приемного резино-каньевого рукава;

**II участок** – изогнутая часть приемного рукава;

**III участок** – прямой отрезок приемного рукава, расположенный между выходом из изогнутой части и сечением с нулевым избыточным давлением ( $P_u = 0$ );

**IV участок** – часть приемного рукава, расположенная между сечением  $P_u = 0$  и входом в центробежный рыбонасос (цбрн);

**V участок** – цбрн, от входного до выходного патрубков;

**VI участок** – труба, соединяющая цбрн с водоотделителем;

**VII участок** – водоотделитель;

$H_g$  – геометрическая высота подачи;

$P_a$  – атмосферное давление;

$P_u$  – избыточное статическое давление;

$P_i = P_u$  – избыточное статическое давление перед входом в приемный рукав;

$h_i = P_i / \gamma$  – геометрическая высота столба воды (статический напор) перед входом в приемный рукав;

$\gamma$  – плотность воды;

$\zeta_{ок}$  – коэффициент местного сопротивления на входе в приемный рукав;

$v_{ок}$  – скорость потока на входе в приемный рукав;

$g$  – ускорение свободного падения;

$P_{i,II} / \gamma$  – статический напор на входе в приемный рукав;

$P'_{i,II} / \gamma$  – статический напор в расчетных сечениях II участка;

$\lambda$  – удельный коэффициент гидравлических потерь на трение по длине приемного рукава;

$v$  – скорость потока в приемном рукаве;

$d$  – внутренний диаметр приемного рукава;

$l_{II}$  – расстояние от входа во II участок до центра его расчетного сечения;

$h'_{II}$  – геометрическая высота столба воды между входом во II участок и центром его расчетного сечения;

$P_{i,III} / \gamma$  – статический напор в сечении между II и III участками;

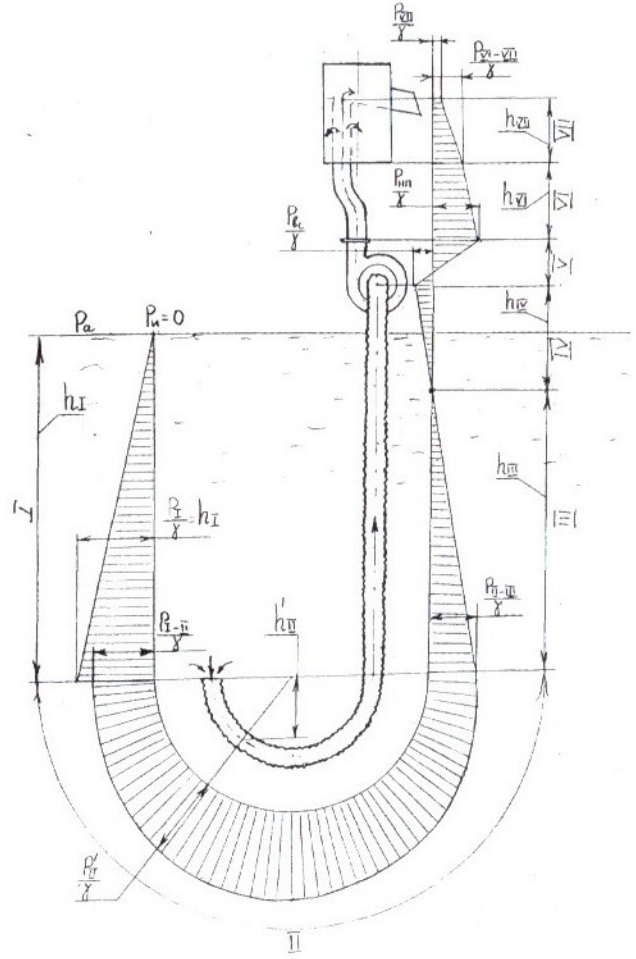


Рис. 1. Эпюра избыточных статических давлений в надводной центробежной рыбонасосной установке для лова кильки на свет

$l_{III}$  – длина III участка;

$h_{iii} \approx l_{III}$  – геометрическая высота столба воды в III участке;

$l_{IV}$  – длина IV участка;

$h_{iv} \approx l_{IV}$  – геометрическая высота столба воды в IV участке;

$h_{изг}$  – гидравлические потери в изгибе приемного рукава на входе в цбрн;

$P_{вс} / \gamma$  – разрежение на входе в приемный патрубок цбрн;

$P_{нп} / \gamma$  – статический напор на выходе из напорного патрубка цбрн;

$l_{VI}$  – длина VI участка;

$h_{vi}$  – геометрическая высота столба воды в VI участке;

$d_{vi}$  – внутренний диаметр VI участка;

$\lambda_{vi}$  – удельный коэффициент гидравлических потерь на трение в VI участке;

$v_{vi}$  – скорость потока в VI участке;

$P_{vi-vii} / \gamma$  – статический напор на входе в водоотделитель;

$h_{vii}$  – геометрическая высота столба воды в водоотделителе;

$h_{ео}$  – гидравлические потери по длине в перфорированной трубе водоотделителя;

$h_{вых}$  – гидравлические потери на выходе из перфорированной трубы водоотделителя;

$v_{вых}$  – скорость потока на выходе из перфорированной сбросной трубы водоотделителя;

**Концентрация рыбы в перекачиваемой водорыбной смеси не должна превышать 30 %; рыбонасос эксплуатируется в благоприятном для перекачиваемой рыбы режиме.**



$\zeta_{\text{вых}}$  – коэффициент местного сопротивления на выходе из перфорированной сбросной трубы водоотделителя;

$P_{\text{VII}}/\gamma$  – остаточный статический напор на выходе из перфорированной сбросной трубы водоотделителя.

Из эпюры следует, что, находясь перед залавливающим устройством (нижняя часть I участка), рыба, пребывая на глубине  $h_p$ , находится под статическим давлением  $P_1/\gamma$ .

При входе в залавливающее устройство имеет место некоторая потеря напора, в результате чего на вошедшую в него рыбу воздействует статическое давление:

$$(P_1 - P_{II})/\gamma = P_1/\gamma - \zeta_{\text{вх}} \cdot V^2/2g.$$

Далее по длине закругленного II участка, по мере его заглубления, сначала происходит рост статического давления, а затем, с уменьшением заглубления, статическое давление уменьшается. Наряду с этим по длине этого участка имеют место потери давления на трение. С учетом этого фактора статическое давление в любом расчетном сечении II участка может быть определено по формуле:

$$P'_{II}/\gamma = (P_{I-II})/\gamma + h'_{II} - \lambda \cdot l_{II}/d \cdot V^2/2g.$$

Из приведенной эпюры следует, что наибольшее статическое давление рыба испытывает в нижней части закругленного участка и именно в этот момент плавательный пузырь кильки находится в максимально сжатом состоянии.

При входе в III участок статическое давление составляет:

$$(P_{II-III})/\gamma = (P_{I-II})/\gamma - \lambda \cdot l_{II}/d \cdot V^2/2g.$$

На отрезке от входа в III участок до входа в цбрн статическое давление падает линейно, пересекая вертикальную линию, соответствующую атмосферному давлению  $P_{ат}$ , при котором избыточное статическое давление  $P_{ст}$  равно нулю. Таким образом, этот отрезок приемного рукава можно разделить на два участка:

III – от входа в него до  $(P_{II-III})/\gamma = (P_{II-III})/\gamma - h_{III} - \lambda \cdot l_{III}/d \cdot V^2/2g = 0$

и IV – от  $(P_{II-III})/\gamma = 0$  до  $P_{ат}/\gamma = 0 - h_{IV} - \lambda \cdot l_{IV}/d \cdot V^2/2g - h_{атм}$ , что

соответствует условиям входа в цбрн. Именно на входе в цбрн наблюдается абсолютное статическое давление, меньшее атмосферного (разрежение), и плавательный пузырь кильки достигает максимального объема.

На V участке происходит резкая смена давления – от минимального  $P_{ат}/\gamma$  на входе в рыбонасос до максимального  $P_{VI}/\gamma$  на выходе из его напорного патрубка. Именно в этот момент происходит схлопывание плавательного пузыря, которое может привести к образованию лопанца даже у рыб, прошедших через короткие межлопастные каналы без соударения с его твердыми поверхностями.

На VI, относительно коротком, участке (путь от цбрн до водоотделителя) статическое давление падает плавно, и к моменту входа водорыбного потока в водоотделитель оно составляет:

$$(P_{VI-VII})/\gamma = P_{VI}/\gamma - h_{VI} - \lambda_{VI} \cdot l_{VI}/d_{VI} \cdot V^2/2g.$$

Столь же плавно падает давление и в водоотделителе, и перед выходом водорыбной смеси на фильтрующую решетку оно составляет:

$$P_{VII}/\gamma = (P_{VI-VII})/\gamma - h_{VII} - h_{во} - h_{\text{вых}}, \text{ где } h_{\text{вых}} = \zeta \cdot V^2/2g.$$

При изливе водорыбной смеси на фильтрующую решетку рыба оказывается в условиях атмосферного давления  $P_{ат}$ .

Следует отметить, что воздействие статического давления на рыбу в гидротранспортном тракте рыбонасосной установки в худшем случае может привести к образованию лопанца, но не способно повредить рыбу сильно (отрыв головы, повреждение

жаберных крышек, вмятины на теле и т.п.). Такие повреждения могут иметь место, но они связаны не с изменением статического давления, а с ударным воздействием на рыбу конструктивных элементов рыбонасоса, и в первую очередь входных частей лопастей его рабочего колеса.

При выборе типоразмера цбрн, встраиваемого в рыбонасосную установку, проектировщик прежде всего исходит из необходимости обеспечить заданную производительность. Проблема эта, на первый взгляд, решается просто: обеспечением требуемой частоты вращения рабочего колеса цбрн. Но простота эта обманчива, ибо при эксплуатации любой рыбонасосной установки необходимо соблюдать три основных условия (Краковский Б.С., Докукин М.М. *Центробежные рыбонасосы*. М.: Пищевая промышленность, 1974. 119 с.):

концентрация рыбы в перекачиваемой водорыбной смеси не должна превышать 30 %;

эксплуатационная частота вращения рабочего колеса цбрн не превосходит критическое значение  $n_{кр}$ ;

рыбонасос эксплуатируется в благоприятном для перекачиваемой рыбы режиме (см. п. 3).

Применительно к лову кильки на свет первое условие можно не принимать в расчет, так как в этом случае концентрация рыбы в водорыбном потоке, как правило, не превышает 7 %. Два же остальных следует соблюдать неукоснительно, ибо только в этом случае можно избежать значительных повреждений перекачиваемой рыбы.

2. Зависимость критической частоты вращения рабочего колеса цбрн от диаметра окружности входных кромок лопастей  $D_{тл}$  (м), работы разрушения  $T_{тлр}$  (Дж), делающей рыбу нетоварной, и массы рыбы  $G$  (кг) представлена следующей формулой:

$$n_{кр} = 26,2/D_{тл} \cdot (T_{тлр}/G)^{1/2} \quad (1)$$

(Здесь 1 Дж = 0,102 кгс · м).

Экспериментальными работами, проведенными во ВНИРО в начале 70-х годов, было доказано, что эксплуатационная частота вращения рабочего колеса должна составлять:

$$n_3 = (0,60 \div 0,65) \cdot n_{кр} \quad (2)$$

Рассмотрим возможность использования этих формул применительно, например, к рыбонасосу РБ-100, имеющему радиус закругления входной части лопасти 27 мм,  $D_{тл} \approx 0,12$  м и хорошо приспособленному для перекачки такой мелкой рыбы, как тюлька, килька, хамса, сельдь мелкая и салака.

Средняя масса каспийской кильки составляет 0,008 кг, а работа ее разрушения (по данным ВНИРО) ~ 0,40 Дж. Тогда, в соответствии с формулой (1),  $n_{кр} = 1544$  об/мин., а допустимая эксплуатационная частота вращения  $n_3 = 926$  об/мин. На практике электропривод обеспечивает частоту вращения рабочего колеса  $n_3$  не более 900 об/мин., что является некоторым запасом прочности для проходящей через цбрн кильки. К сожалению, мы не располагаем экспериментальными значениями  $T_{тлр}$

для кильки по отношению к другим типоразмерам рыбонасосов. Определение этих величин могло бы стать в будущем самостоятельным исследованием (причем не только для кильки, но и для других видов рыб). В связи с этим значения  $n_{кр}$  для рыбонасосов других типоразмеров должны быть определены экспериментально в ходе их опытной эксплуатации.

3. Определив значение эксплуатационной частоты вращения рабочего колеса, следует обеспечить для этой частоты до-

**При проектировании рыбонасосной установки для лова рыбы на свет необходимо стремиться к минимально близкому расположению палубного рыбонасоса к уровню моря с целью снижения разрежения на входе в насос и на подходе к нему. Такая мера позволит уменьшить вздутие плавательного пузыря перед прохождением через рабочее колесо рыбонасоса.**

пустимый режим эксплуатации, соответствующий по производительности соотношению:

$$Q_3 = (0,8 \div 1,35) \cdot Q_{опт} \quad (3)$$

где  $Q_3$  – эксплуатационная подача (производительность) рыбонасоса, а  $Q_{опт}$  – оптимальная подача рыбонасоса, соответствующая его максимальному КПД.

Известно, что любой цбрн при одной и той же частоте вращения рабочего колеса может перекачивать водорыбную смесь в различных режимах, т.е. обеспечивать разные значения подач и напоров. Эти рабочие параметры зависят от таких характеристик гидротранспортного тракта, как геометрическая высота подачи  $H_г$ , длина и диаметр трубопроводов, наличие местных сопротивлений (изгибы, расширения и сужения), а также шероховатость смачиваемых поверхностей. Следует сразу оговориться: шероховатость трубопроводов должна быть минимальной.

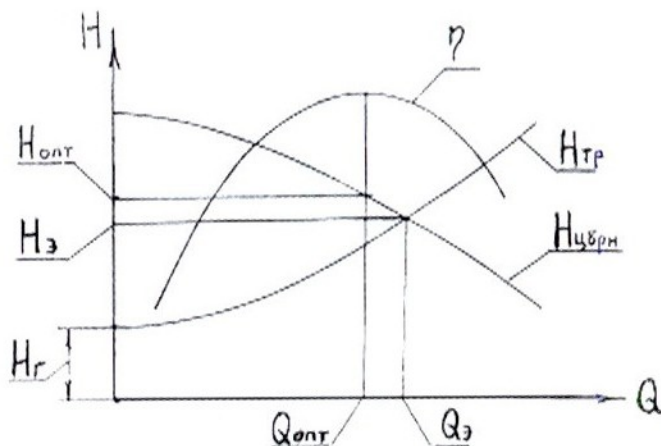
Варьируя перечисленные величины, можно добиться такой гидравлической характеристики тракта (Терентьев А.В., Фонарев А.Л., Краковский Б.С. *Научный отчет ВНИРО «Рабочие характеристики центробежных рыбонасосов и трубопроводов»*. М.: ОНТИ ВНИРО, 1970. 92 с.), которая при пересечении ее с рабочей характеристикой цбрн обеспечит условие (3).

На рис. 2 приведен пример определения эксплуатационных значений подачи  $Q_3$  и напора  $H_3$  при работе цбрн с частотой вращения рабочего колеса  $n_3$ .

Именно точка пересечения рабочей характеристики рыбонасоса  $H_{цбрн} = \phi(Q)$  с гидравлической характеристикой тракта  $H_{тр} = \phi(Q)$  определяет в первом приближении режим работы рыбонасоса, т.е. эксплуатационные значения развиваемых им напора и подачи при ранее выбранном значении  $n_3$ . Наилучшим является вариант, когда пересечение указанных характеристик соответствует максимальному значению  $\eta$ . Это значит, что рыбонасос работает в строго оптимальном режиме и травматизм перекачиваемой рыбы будет минимальным при прочих равных условиях. Однако на практике достижение оптимального режима маловероятно, и для наших целей будет вполне достаточным соблюдение условия (3).

В любом случае при проектировании рыбонасосной установки для лова рыбы на свет необходимо стремиться к минимально близкому расположению палубного рыбонасоса к уровню моря с целью снижения разрежения на входе в насос и на подходе к нему. Такая мера позволит уменьшить вздутие плавательного пузыря перед прохождением через рабочее колесо рыбонасоса и снизить травматизм рыбы.

Значительные преимущества имеют погружные рыбонасосные установки (Никоноров И.В., Никоноров С.И., Краковский Б.С. *Сравнительный анализ перспектив использования погружного рыбонасоса У-880 и надводных рыбонасосных установок ЭРН-200 для лова кильки на свет*. «Вопросы рыболовства», 2002. Т. 3, № 2 (10). С. 308–321), в которых разрежение на входе либо отсутствует, либо крайне мало. Разрежение в приемной части гидротранспортного тракта погружной рыбонасосной установки имеет место только в том случае, когда величина заглубления насоса меньше гидравлических потерь на пути от залавливающего устройства до входа в насос. Ликвидировать причину указанного разрежения можно, опустив рыбонасос на более низкий горизонт. На входе в на-



**Рис. 2.** Пример определения эксплуатационных значений подачи и напора цбрн:  $Q, H, n$  – эксплуатационные значения подачи, напора и частоты вращения рабочего колеса;  $Q_{опт}, H_{опт}$  – оптимальные значения подачи и напора;  $H_г$  – геометрическая высота подачи водорыбной смеси;  $H_{тр}$  – гидравлическая характеристика тракта;  $H_{цбрн} = \phi(Q)$  – напорная рабочая характеристика цбрн;  $\eta$  – коэффициент полезного действия цбрн

сос можно, таким образом, не только ликвидировать разрежение, но и обеспечить подпор, улучшающий прохождение рыбы через рабочее колесо. Более того, при этом устраняются предпосылки для возникновения на входе в насос кавитационных явлений и появляется возможность увеличить (в допустимых пределах) производительность цбрн.

Изложенное выше позволяет сделать следующие выводы. Из всех известных орудий бессетового лова кильки на свет предпочтение должно быть отдано центробежным рыбонасосным установкам погружного типа, как наиболее производительным и удобным в эксплуатации. Травмируемость кильки можно свести к минимуму при условии эксплуатации центробежных рыбонасосных установок в соответствии с предложенными рекомендациями. Наличие таких механических повреждений кильки, как лопанец, в конечном итоге не влияет на качество выпускаемой продукции.

**Nikonorov I.V., Krakovsky B.S.**

**Choosing the type of fish-pumping plant for sprat light fishing on the base of analysis of damage taken by sprat during fishing**

*In the article an attempt is made to analyze objectively the whole complex of factors influencing upon fish damaging when using rotary fish-pumping plants. Such plants have wide application in the Caspian Sea until now. The authors give preference to submersible rotary fish-pump plants believing them to be the most effective and handy gears among all known ones for fishing without nets.*

*Given recommendations on exploitation of such plants allow to minimize fish traumatizing. Such mechanical injuries as outburst in the end do not affect the product quality.*