

Раздел II. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЫБОЛОВНЫХ ОРУДИЙ

УДК 639.2.081.8

НЕКОТОРЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПОДВОДНЫХ И НАДВОДНЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ЛОВА РЫБЫ

В. Н. Мельников**Астрыбвтуз**

Совершенствование промысла рыбы с применением света во многом зависит от полноты разработки светотехнических и биофизических основ лова. Довольно обширная литература, посвященная этому вопросу, касается в основном изучения светового поля и зоны действия точечных источников подводного освещения. Значительно менее подробно рассмотрены светотехнические и биофизические основы лова с применением точечных надводных источников и совокупности источников подводного и надводного освещения.

Ниже рассматривается классификация способов применения искусственных световых полей в рыболовстве, методика выбора параметров и расположения источников, обеспечивающих заданную по размерам, форме и структуре зону действия и необходимое управляющее воздействие на рыбу. Предлагаемые методы расчета весьма приближены и основаны на ряде серьезных допущений (используется детерминированный метод решения задач, не учитывается ослабление света рыбой, иногда вместо точных спектральных формул используются приближенные, делаются допущения о форме зоны действия и скоплений рыбы у источников и т. д.). В ряде случаев этих допущений можно было бы избежать в ущерб простоте математических выражений и пониманию их сущности.

КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ СВЕТОВЫХ ПОЛЕЙ В РЫБОЛОВСТВЕ

Рассматривая способы лова рыбы с применением искусственного света, нетрудно убедиться, что в их основу положены комбинации трех видов световых полей:¹

¹ Вид поля определяется без учета возможных случайных колебаний положения, ориентации и параметров источников, например в результате качки судна, случайного изменения напряжения в электрической сети и т. д.

а) стационарных C , образованных неподвижными источниками с постоянным по интенсивности и спектральному составу излучением;

б) подвижных D , которые наблюдаются, когда источник поля перемещается в горизонтальном или вертикальном направлении или изменяет ориентацию в пространстве; соответственно световые поля, образованные такими способами, обозначим $ДГ$, $ДВ$, $ДО$;

в) переменных P , образованных неподвижными источниками с переменными параметрами излучения; при быстром количественном или качественном изменении светового потока источников (импульсные источники, источники мигающего света) световое поле будем условно обозначать $ПБ$, при медленном — $ПМ$.

Количество возможных комбинаций световых полей может быть чрезвычайно велико, однако практически их число ограничено. Во-первых, маловероятно использование в одном способе более трех разновидностей световых полей. Во-вторых, применение ряда комбинаций световых полей ни теоретически, ни практически не оправдано. С другой стороны, способы применения световых полей характеризуются не только определенным сочетанием световых полей, но и другими признаками. По этой причине возможны различные варианты почти каждого из указанных способов.

В простейшем случае при лове рыбы используется одна разновидность световых полей.

Стационарные световые поля можно использовать самостоятельно для концентрации рыбы у световых точек как световые заграждения и как средство перемещения рыбы в определенном направлении. Способы применения стационарных световых полей отличаются типом освещения (надводное, подводное, комбинированное), количеством, параметрами и расположением источников.

Подвижные световые поля могут служить для концентрации рыбы у источника, который перемещается вместе с судном ($ДГ$), в качестве подвижных световых заграждений ($ДГ$), для привлечения или отпугивания рыбы с помощью светового поля, образованного световыми приборами (например, прожекторами) при изменении их ориентации ($ДО$), для концентрации рыбы путем уменьшения высоты источника над поверхностью воды ($ДВ$) и т. д. Способы применения этого вида полей, кроме признаков, отмеченных для стационарных полей, отличаются видом, направлением и скоростью движения или изменения ориентации источников поля.

Переменные световые поля можно использовать для концентрации рыбы, оказавшейся в момент включения источника в зоне его действия, путем медленного уменьшения интенсивности поля ($ПМ$), в световых заграждениях, которые образованы источниками импульсного или мигающего света ($ПБ$), для дезориентации и распугивания рыбы в зоне или у зоны действия орудий лова светом импульсных или мигающих источников ($ПБ$) и т. д. Способы применения переменных световых полей отличаются, кроме типа освещения, количества и расположения источников, характером и скоростью изменения параметров источников.

Более разнообразны случаи применения комбинации двух видов световых полей.

Сочетания $C—P$, $P—C$ и $C=P^*$ пригодны для накопления рыбы в стационарном световом поле с последующей концентрацией ее ближе

* Знак $(—)$ указывает, что источники поля работают последовательно, а знак $(=)$ означает, что они действуют одновременно.

к источнику путем медленного уменьшения интенсивности поля ($C-ПМ$), для образования световых трасс, с помощью которых рыба накапливается в стационарном световом поле нескольких источников, а затем перемещается в сторону залавливающего устройства благодаря соответствующему режиму работы источников, выбору их параметров и расположения ($C-ПМ$ или $C-ПБ$); для образования световых заграждений, состоящих из обычных и импульсных или мигающих источников ($C=ПБ$); для уплотнения скопления рыбы путем уменьшения интенсивности поля с дальнейшей выдержкой скопления в стационарном световом поле ($ПМ-C$) и т. д.

Комбинации $C-D$ и $D-C$ можно использовать для накопления рыбы в стационарном световом поле с последующим вертикальным перемещением источника вместе с залавливающим устройством ($C-ДВ$), для накопления рыбы в стационарном световом поле, после чего она переходит с подвижным световым полем в зону действия орудия лова ($C-ДГ$, $C-ДВ$, $C-ДО$); для перемещения плотного скопления по горизонтали или вертикали в стационарное световое поле у залавливающего устройства ($ДГ-C$, $ДО-C$, $ДВ-C$) и т. д. Не менее многочисленны способы применения комбинаций световых полей $Д-П$, $П-Д$ и $Д=П$. Такие комбинации пригодны для образования скопления рыбы подвижными световыми заграждениями, образованными переменным по интенсивности световым полем ($ДГ=ПБ$), для дезориентации рыбы в зоне действия трала светом источников импульсного или мигающего света, расположенных у устья орудия лова ($ДГ=ПБ$); для образования скопления рыбы при лове на ходу судна, когда уплотнение скопления у залавливающего устройства осуществляется за счет медленного уменьшения интенсивности поля ($ДГ-ГМ$); для уплотнения скопления рыбы путем уменьшения интенсивности и высоты источника надводного освещения над поверхностью воды ($ДВ=ПМ$) и т. д.

Из большого числа комбинаций с использованием трех видов световых полей укажем в качестве примера лишь на некоторые способы применения сочетания $C-П-Д$.

Это сочетание можно использовать для образования скопления в стационарном световом поле с последующей концентрацией рыбы посредством медленного уменьшения интенсивности поля и перемещением ее в горизонтальном или вертикальном направлении к залавливающему устройству ($C-ПМ-ДГ$, $C-ПМ-ДВ$; $C-ПМ-ДО$); для образования скопления подвижными световыми заграждениями вида $ПБ-ДГ$ с предварительным накоплением рыбы в стационарном световом поле ($C-ПБ-ДГ$), для концентрации рыбы в световом поле, образованном одновременно источниками непрерывного действия и импульсными с последующим горизонтальным или вертикальным перемещением рыбы к залавливающему устройству ($C-ПБ-ДГ$, $C-ПБ-ДВ$) и т. д.

Выбор соответствующей комбинации световых полей зависит от концентрации, распределения и степени подвижности рыбы в водоеме, особенностей реакции рыбы на различные виды световых полей, некоторых гидрологических факторов, вида и конструкции орудия лова, техники лова и т. д. В ряде случаев может возникнуть и обратная задача, когда в основу кладется определенная комбинация световых полей, а подбирается орудие и техника лова.

По способу применения и особенностям расчета удобно различать четыре типа световых устройств для лова рыбы: точечные источники

подводного и надводного освещения; совокупность точечных источников, образующих единое световое поле, служащее для концентрации в нем рыбы; световые трассы; световые заграждения. Рассмотрим некоторые элементы методики расчета таких устройств.

ТОЧЕЧНЫЙ ИСТОЧНИК НАДВОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Рассмотрим методику светотехнического и биофизического расчета точечного источника надводного освещения; подобная методика для точечных подводных источников изложена ранее.

Максимальную эффективную освещенность E_φ глаза рыбы на глубине H лучами точечного источника с углом падения на поверхность воды φ (рис. 1) можно определить по приближенной спектральной формуле:¹

$$E_\varphi = \frac{\tau_\varphi C_p}{\left(\frac{h}{\cos \varphi} + \frac{H}{\cos \beta}\right)^2} \int_0^\infty 10^{-\alpha_1(\lambda) \frac{H}{\cos \beta}} I_\varphi(\lambda) v_p(\lambda) d\lambda, \quad (1)$$

где τ_φ — отношение яркости преломленного света к яркости света, падающего на поверхность воды под углом φ ;

C_p — максимальная величина спектральной чувствительности глаза рыбы;²

β — угол преломления световых лучей, падающих на поверхность воды под углом φ , равный $\arcsin \frac{\sin \varphi}{n}$ (n — показатель преломления для воды);

h — высота источника над поверхностью воды;

$I_\varphi(\lambda)$ — функция спектральной интенсивности излучения источника со сплошным спектром в направлении, определяемом углом φ ;

$\alpha_1(\lambda)$ — функция, характеризующая изменение показателя ослабления света точечного источника по спектру;

$v_p(\lambda)$ — функция относительной спектральной чувствительности глаз рыбы.

Величину τ_φ в выражении (1) обычно определяют по формуле Френеля. Для углов $\varphi > 80^\circ$ значение τ_φ можно считать равным $5 \cos \varphi$.

Чтобы найти зону действия источника, необходимо знать координату x площадки (см. рис. 1), которая находится на глубине H и освещается лучами с углом падения φ . Очевидно,

$$x = h \operatorname{tg} \varphi + H \operatorname{tg} \beta = h \operatorname{tg} \varphi + H \frac{\sin \varphi}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi}}. \quad (2)$$

С помощью уравнений (1) и (2) по заданной кривой силы света источника и высоте его расположения над поверхностью воды можно построить кривые распределения освещенности на различных глубинах (рис. 2). Если известно пороговое значение освещенности $E_{\text{п}}$ глаза

¹ Формула не учитывает ослабления света рыбой и воздушной средой, а также неоднородности воды.

² Если за основу принять систему световых единиц, то $C_p = 683$.

рыбы, то, используя кривые $E=f(x)$, нетрудно определить зону действия источника.¹ Соответствующие построения для определения сечения зоны действия источника вертикальной плоскостью, проходящей через источник, показаны на рис. 2.

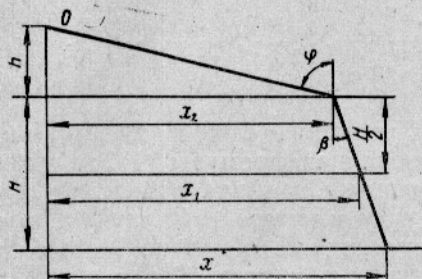


Рис. 1

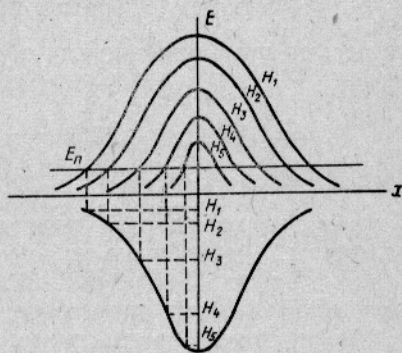


Рис. 2

Для приближенной оценки размеров зоны иногда достаточно знать наибольшую высоту зоны H_M и радиус зоны действия сразу же под поверхностью воды x_M . H_M можно найти из уравнения (1), считая угол $\varphi=0$, а $E_\varphi=E_n$; из этого же уравнения можно найти x_M , принимая $H=0$

$$H_M = \sqrt{\frac{0,98 C_p}{E_n} \int_0^\infty 10^{-\alpha_1(\lambda) H_M} I_\varphi(\lambda) v_p(\lambda) d\lambda - h}; * \quad (3)$$

$$x_M = \sqrt[3]{\frac{5h C_p}{E_n} \int_0^\infty I_\varphi(\lambda) v_p(\lambda) d\lambda}. \quad (4)$$

Анализ выражений (3) и (4) свидетельствует о значительном влиянии высоты источника над поверхностью воды на размеры зоны и показывает, что прирост размеров зоны с увеличением мощности близко расположенных источников до 15—20 кВт, а иногда и более достаточно велик, несмотря на резкое уменьшение τ_φ для углов φ , близких к 90° .

Зона действия источников обычно должна иметь определенную форму и размеры. Рассмотрим, как подобрать в некоторых практически важных случаях интенсивность излучения источников с равномерным в пределах нижней полусферы угловым распределением света и высоту их расположения над поверхностью воды.

1 случай. Рыба располагается в поверхностном слое воды до глубины H . При заданной интенсивности излучения источника необходимо обеспечить наибольшую по объему зону его действия в этом слое воды.

¹ В более точных расчетах необходимо учитывать, что в результате изменения естественной освещенности с глубиной E_n уменьшается.

* Уравнение (3) можно решить методом последовательного приближения.

Искомой в рассматриваемом случае является высота h источника над водой. Если решить уравнение (1) относительно h , предварительно подставив в него E_n вместо E_e , то нетрудно заметить, что расчетная высота зависит от угла φ . Установим, какой угол φ следует принимать в расчет, чтобы при h , соответствующем этому углу, зона действия была наибольшей по объему. В достаточно прозрачных морских водах при $\frac{H}{x_m} < 1/5$ объем V зоны в пределах слоя воды высотой H можно найти весьма приближенно как объем усеченного конуса

$$V = \pi H \left[(h \operatorname{tg} \varphi)^2 + h H \frac{\sin^2 \varphi}{\cos \varphi \sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi}} + \frac{H^2}{3} \cdot \frac{\sin^2 \varphi}{n^2 - \sin^2 \varphi} \right]. \quad (5)$$

Если в выражение (5) подставить значения φ и соответствующие им величины h , найденные из преобразованной формулы (1), то можно построить график $V(\varphi)$ (рис. 3). Максимум графика определяет угол φ , который и является расчетным. По углу φ можно найти искомую высоту h , если на тот же график нанести кривую $h(\varphi)$. В некоторых случаях источник нельзя поднять на расчетную высоту. Тогда оптимальную интенсивность излучения источника для определенной высоты подвеса источника над поверхностью воды можно установить, построив графики $h(\varphi)$ и $V(\varphi)$ для заданной глубины H и различных значений I_φ и график $I_\varphi(h)$ (рис. 4), на котором кривые 1—4— $h(\varphi)$ для четырех I_φ , кривые 5—8— $V(\varphi)$ — для тех же значений.

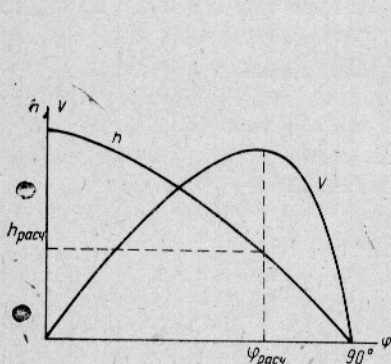


Рис. 3

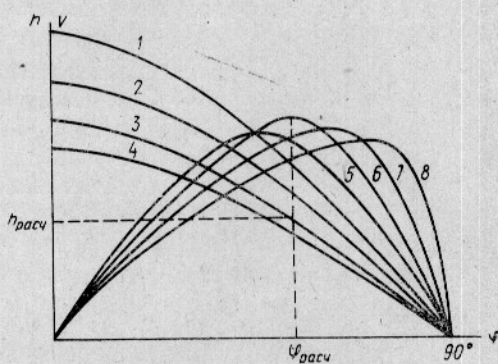


Рис. 4

Из построений следует, что чем ниже располагается источник, тем меньше его оптимальная мощность. Если мощность источника больше расчетной, то высота зоны действия окажется излишней, а по горизонтали она увеличится незначительно из-за быстрого уменьшения τ_φ на больших углах φ .

II случай.

Определить интенсивность излучения источника и высоту его расположения над поверхностью воды, если зона действия источника должна быть ограничена по горизонтали и вертикали.

Заданными величинами в этом случае являются H и x_1 (см. рис. 1). Строим графики $h(\varphi)$, $V(\varphi)$ и $h[I(\varphi)]$ для заданного значения H , подобные изображенным на рис. 4. С помощью графиков $h(\varphi)$ и $V(\varphi)$

можно найти, для какой высоты h значения x_1 и x_2 равны расчетным¹ (рис. 5).

На рис. 5 кривые 1—4 — $h(\varphi)$ для четырех значений H ; 5—8 — $V(\varphi)$ для тех же значений H .

График $h(I_\varphi)$ позволяет по найденной высоте h найти вторую искомую величину I_φ .

III случай.

Источник света должен обеспечить наибольшую по объему зону действия. Размеры зоны по вертикали и горизонтали не ограничены.

Объем зоны действия в этом случае можно приближенно определить как объем конуса, у которого высота равна H_m , а основание (κ) x_m (κ — коэффициент, зависящий в основном от отношения $\frac{H_m}{x_m}$ и равный 0,6—0,8).

Строим графики $h(\varphi)$ и $V(\varphi)$ для заданной интенсивности излучения источника и различных значений H (см. рис. 5) и устанавливаем, для какой глубины H источник заданной мощности позволяет получить наибольший объем зоны действия. После этого нетрудно найти искомую высоту источника над водой.

Кроме трех рассмотренных, возможны и другие расчетные случаи. В частности, если промысел основан на подходах рыбы в освещенную зону, то эффективность зоны определяется не ее объемом, а наибольшей площадью поперечного сечения S . Тогда определение интенсивности и расположения источника производится аналогично описанному, но вместо V в расчетах используют S . Представляют интерес случаи, когда рыба держится не у самой поверхности, а в слое воды некоторой толщины.

Значительное влияние на размеры, форму и структуру зоны действия оказывает угловое распределение света осветительной установки. Требуемое угловое распределение света можно получить при помощи ламп с зеркально отражающей поверхностью или различных осветительных приборов (светильников, прожекторов), причем возможности зеркальных ламп и прожекторов в этом отношении значительно более ограничены.

Задача сводится к выбору или расчету формы кривой силы света или угла рассеяния осветительного прибора. Как правило, решение этих задач не вызывает затруднений. Так, кривую силы света источника, позволяющего получить в определенном интервале значений x одинаковую по высоте зону действия, можно найти, определив I_φ из уравнения (1) для различных углов φ и постоянном значении H .

Способы расчета параметров световых приборов с заданными кривыми силы света подробно описаны в светотехнической литературе.

В заключение покажем, как определить спектральный состав света

¹ При определении x_1 через x_2 для углов $\varphi > 70^\circ$ величину $\text{tg } \beta$ можно считать постоянной и равной в среднем 1,07.

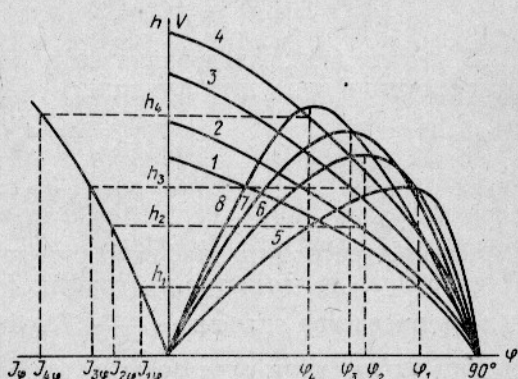


Рис. 5

надводного источника, который при других одинаковых условиях позволяет получить наибольшую по размерам зону действия. Решение задачи сводится к исследованию на экстремум функции

$$f(\lambda) = 10^{-\alpha_1(\lambda)} \frac{H}{\cos \beta} v_p(\lambda).$$

В результате исследования получаем уравнение, которое можно представить в виде двух функций:

$$f_1(\lambda) = v_p'(\lambda);$$

$$f_2(\lambda) = 2,3 \frac{H}{\cos \beta} \alpha_1'(\lambda) v_p(\lambda).$$

Точка пересечения графиков указанных функций соответствует $\lambda_{\text{опт}}$. Однако прежде чем строить график функции $f_2(\lambda)$, необходимо определить расчетное значение $\frac{H}{\cos \beta}$. Глубина H , на которой рыба держится в поверхностном слое воды, обычно бывает известна. Величину угла β с достаточной степенью точности можно определить по значению угла φ . В подавляющем большинстве случаев расчетный угол φ превышает 70° . Для таких φ угол β равен $45-49^\circ$, а $\cos \beta$ можно считать постоянным и равным 0,68.

СОВОКУПНОСТЬ ИСТОЧНИКОВ ПОДВОДНОГО И НАДВОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

В практике лова рыбы с применением электросвета часто используют не один, а несколько источников подводного или надводного освещения, образующих единое световое поле. Расчет светового поля и зоны действия совокупности источников затруднителен, если количество источников в совокупности достаточно велико. Чтобы облегчить задачу, часто заменяют всю совокупность источников или часть ее эквивалентной системой. Такой системой может быть светящаяся точка, полоса или поверхность. Ослабление света водой и преломление света надводных источников на границе воздушной и водной среды делают расчеты освещенности от светящейся полосы и поверхности довольно сложными, поэтому удобнее заменять совокупность источников эквивалентной системой, состоящей из одной или нескольких светящихся точек.

В светотехнике источник света принято считать точечным, если размеры источника в 5—10 раз меньше расстояния до освещаемой поверхности. Как показывают расчеты, это правило справедливо и для водной среды, хотя из-за мутности воды точность расчетов в результате замены совокупности источников эквивалентной системой снижается. Правило позволяет весьма просто устанавливать, какую группу источников можно считать светящейся точкой, если задано расстояние до освещаемой поверхности. Обычно светящейся точкой в рыболовстве можно считать две или несколько ламп у всасывающего патрубка рыбонасоса, группу источников, расположенных в одном светильнике (например, на промысле сайры). Более того, при исследовании светового поля на значительном расстоянии от источников светящейся точкой можно считать группу светильников.

Определение положения эквивалентной светящейся точки в общем случае весьма сложно, тем более, что оно является функцией координат точки, для которой находят освещенность. Учитывая сравнительно небольшую точность наших расчетов, положение эквивалентной светя-

щейся точки для выбранной группы источников можно считать постоянным и находить его по аналогии с определением центра тяжести механической системы. Это допущение особенно оправдано, если расстояние от светящейся системы до освещаемой плоскости велико по сравнению с размерами самой системы. Уменьшая количество источников в системе, можно всегда добиться требуемой точности.

Для определения параметров светового поля в ряде точек исследуемого пространства воспользуемся векторным методом.

В соответствии с векторным методом световой вектор точечного источника в рассматриваемой точке имеет величину, равную в масштабе нормальной освещенности. Световой вектор от нескольких точечных источников равен сумме световых векторов от каждого из них.

Величину светового вектора ε_i в рассматриваемой точке от одного источника подводного освещения с равномерным угловым распределением света можно найти по формуле:

$$\varepsilon_i = \frac{C_p}{4\pi L_i} \int_0^\infty 10^{-a_i(\lambda) L_i} I(\lambda) V_p(\lambda) d\lambda, \quad (6)$$

где L_i — расстояние от источника до рассматриваемой точки.

Геометрическое сложение векторов в пространстве сложно, поэтому сначала следует найти ортогональные проекции светового вектора ε_{xi} , ε_{yi} и ε_{zi} каждого источника на оси прямоугольной системы координат, а затем подсчитать по известным из аналитической геометрии формулам величину и направление результирующего вектора ε в поле нескольких источников.

Зная ε и ориентацию освещаемой плоскости, нетрудно найти освещенность этой плоскости в исследуемой точке.

Если подводные источники расположены на одной прямой, то задача значительно упрощается, так как при любом положении исследуемой точки световые векторы оказываются в одной плоскости.

При исследовании светового поля совокупности надводных источников векторным методом необходимо учитывать изменение направления световых лучей при проникновении их в воду.

Пусть заданы координаты световых точек $A(x_1, y_1, z_1)$, $B(x_2, y_2, z_2)$ и т. д. и координаты исследуемой точки $O(x_0, y_0, z_0)$. Величина светового вектора ε_i от каждого из источников в этой точке определяется по формуле (1), в которой угол падения φ_i можно найти из уравнения (рис. 6).

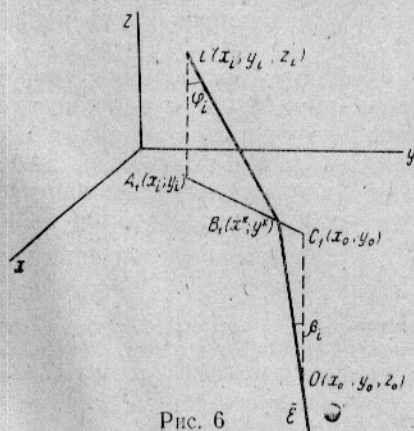


Рис. 6

$$\begin{aligned} & \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} \\ &= z_i \operatorname{tg} \varphi_i + z_0 \cdot \\ & \frac{\sin \varphi_i}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi_i}} \end{aligned} \quad (7)$$

При определении результирующего вектора через ортогональные проекции отдельных векторов необходимо знать углы β_{xi} , β_{yi} и β_{zi} , характеризующие положения преломленного луча и, следовательно, светового вектора ε_i . Для этого найдем сначала координаты x_i^* и y_i^* точки B_1^* , в которой луч, идущий в исследуемую точку от световой точки с координатами x_i , y_i и z_i , попадает в воду. Так как задача сводится к определению координат точки, делящей отрезок в заданном отношении, то можно воспользоваться известными формулами аналитической геометрии:

$$x_i^* = \frac{x_i + \lambda x_0}{1 + \lambda}; \quad y_i^* = \frac{y_i + \lambda y_0}{1 + \lambda}. \quad (8)$$

Величину λ в этих формулах можно найти из известного соотношения

$$\lambda = \frac{A_1 B_1}{B_1 C_1} = \frac{z_i \sin \beta}{z_0 \sin \varphi} = \frac{z_i}{z_0 n}. \quad (9)$$

Направляющие косинусы углов β_{xi} , β_{yi} и β_{zi} результирующего вектора можно определить как направляющие косинусы прямой, проходящей через две точки с известными координатами (x_0, y_0, z_0) и (x^*, y^*, z^*) .

При исследовании светового поля векторным методом наиболее трудоемко определение величины световых векторов. Для облегчения расчетов удобно построить ряд кривых $\varepsilon = f(L)$ для различных значений силы света подводных источников. При исследовании светового поля от совокупности источников надводного освещения задача усложняется, так как световой вектор ε в этом случае зависит от расстояния, которое проходит луч света в воздухе $\frac{h}{\cos \varphi}$ и в воде $\frac{H}{\cos \beta}$ поэтому график следует строить в функции двух, а при неравномерном угловом распределении света источников — трех переменных.

Определение зоны действия совокупности источников векторным методом удобно вести в следующей последовательности.

Предполагаемая зона действия источников рассекается рядом горизонтальных плоскостей, расположенных на разной глубине. На каждой плоскости намечается система точек¹, в которых находят величину результирующей освещенности. Далее, в каждой плоскости проводят линии равных освещенностей. По кривым равных освещенностей легко определить границу зоны действия в этих плоскостях, если известно пороговое значение освещенности, и составить общее представление о зоне, изобразив контуры зоны действия для различных глубин на одном чертеже.

Когда источники света находятся на больших расстояниях друг от друга и их световые поля незначительно накладываются одно на другое, удобнее сначала построить для нескольких плоскостей линии равных освещенностей отдельных источников, а затем подсчитать значения освещенности в ряде точек и провести линии равных освещенностей от совокупности источников. Дальнейшие расчеты и построения не отличаются от ранее описанных.

* В выбранной системе координат $z^* = 0$.

¹ Правильному выбору количества и расположения точек в значительной мере способствуют графики $\varepsilon = f(L)$, $\varepsilon = f_1(h/\cos \varphi)$ и $\varepsilon = f_2(H/\cos \beta)$, поэтому, прежде чем приступить к определению зоны действия совокупности источников, желательно построить указанные графики.

Определение зоны действия совокупности источников весьма трудоемко. В то же время иногда достаточно иметь не столь полное представление о световом поле и зоне действия источников. Например, при линейном расположении надводных источников часто можно ограничиться построением сечения тела распределения освещенностей и зоны действия источников вертикальной плоскостью, проходящей через источники. С этой целью для ряда глубин необходимо построить кривые распределения освещенности в этой плоскости отдельных источников с учетом их взаимного расположения, а затем соответствующие ординаты сложить. В результате будут получены суммарные кривые распределения освещенности на каждой из глубин. Затем суммарные кривые освещенности для различных глубин нужно изобразить в одних координатных осях и по известному пороговому значению освещенности E_n определить границу зоны действия источников.

Если полученная форма и размеры зоны действия источников неудовлетворительны, можно попытаться изменить их, изменяя расположение и интенсивность излучения источников. К сожалению, решение в общем виде задач выбора параметров совокупности источников света и их взаимного расположения с целью получения заданной зоны действия, сопряжено с большими математическими трудностями.

СВЕТОВЫЕ ТРАССЫ

Световые трассы являются одним из эффективных средств расширения зоны привлечения рыбы к залавливающему устройству. Они характеризуются рядом параметров, которые подлежат выбору или расчету: режимом работы, который определяет порядок включения и выключения и продолжительность горения отдельных световых точек трассы; количеством, мощностью и спектральным составом света источников; расстоянием между световыми точками; формой световой трассы; коэффициентом использования источников в световой трассе, равным отношению световой энергии, излучаемой всеми источниками света трассы за один цикл ее работы, к световой энергии, которую они могли бы излучить за то же время, работая непрерывно; коэффициентом плавности подхода рыбы к залавливающему устройству, равным величине, обратной времени одного цикла работы световой трассы.

Ниже на основе приближенных соотношений дается обоснование выбора некоторых параметров световых трасс для двух наиболее перспективных вариантов режима их работы. При этом сначала рассматриваются подводные, а затем надводные световые трассы.

По первому варианту сначала включают все световые точки трассы, а затем их последовательно выключают, и рыба постепенно переходит к залавливающему устройству. В зависимости от особенностей поведения рыбы возможно несколько расчетных случаев этого варианта.

1 случай. После выключения очередной световой точки рыба стремительно расходится в разные стороны.

Наименее вероятно возвращение к горящей световой точке 1 той рыбы, которая ушла от потушенной световой точки под углом θ , близким к 0, и которая в момент выключения света была на периферии скопления радиусом r (рис. 7). Через время t после выключения света эта рыба окажется на расстоянии X от световой точки 1.

$$x = a + r + v_p t, \quad (10)$$

где a — расстояние между источниками;
 v_p — скорость перемещения рыбы.

Наибольшую освещенность E_x глаза рыбы на расстоянии x можно определить по приближенной формуле:

$$E_x = \frac{I_{\text{эф}}}{(a + r + v_p t)^2} \cdot 10^{-\alpha_{\text{ср}}(a+r+v_p t)}, \quad (11)$$

где $I_{\text{эф}}$ — эффективная сила света световой точки;

$\alpha_{\text{ср}}$ — среднее значение коэффициента ослабления точечного источника в слое воды толщиной x .

После выключения световой точки в результате темновой адаптации пороговая разность освещенности, равная в момент выключения света E_n^0 , уменьшается и через время t станет равной

$$E_n^t = E_n^0 10^{-k_1 t}, \quad (12)$$

где k_1 — коэффициент, определяющий скорость темновой адаптации глаза рыбы.

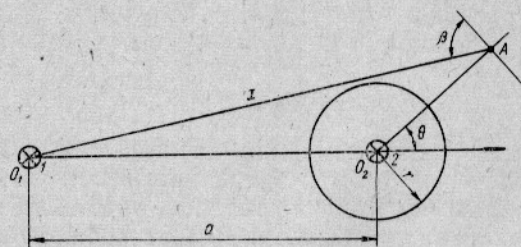


Рис. 7

Приравнивая выражения (11) и (12), находим условие, при котором рыба повернет к горящей световой точке I :

$$\frac{I_{\text{эф}}}{E_n^0 10^{\alpha_{\text{ср}}(a+r)}} = (a + r + v_p t)^2 10^{(\alpha_{\text{ср}} v_p - k_1) t}, \quad (13)$$

Значение t , при котором a имеет экстремальное значение, можно найти, приравняв к нулю частную производную функции (13) по t

$$t = \frac{0,87}{k_1 - \alpha_{\text{ср}} v_p} - \frac{a + r}{v_p}. \quad (14)$$

Подставляя t в выражение (13), получаем следующие расчетные уравнения

при $k_1 < \alpha_{\text{ср}} v_p$

$$\frac{I_{\text{эф}}}{E_n^0} = (a + r) 10^{\alpha_{\text{ср}}(a+r)}; \quad (15)$$

при $\alpha_{\text{ср}} v_p < k_1 < \alpha_{\text{ср}} v_p + \frac{0,87 v_p}{a + r}$

$$\frac{I_{\text{эф}}}{E_n^0} + \frac{v_p^2}{k_1 - \alpha_{\text{ср}} v_p} 10^{\frac{k_1(a+r)}{v_p}}. \quad (16)$$

При $k_1 < \alpha_{\text{ср}} v_p + \frac{3v_p}{a+r}$ значение a теоретически может быть бесконеч-

но большим, практически оно не должно превышать расстояния, на котором освещенность глаза искусственным светом меньше, чем пороговая разность, соответствующая уровню естественной освещенности в водоеме.

Очевидно, далеко не всегда рыба в состоянии возбуждения направляется к горячей световой точке, как только освещенность ее глаза становится больше $E_{\text{п}}$, поэтому, наряду с рассмотренным выше способом определения a , необходимо провести расчет, подставляя в уравнение (13) время t сильного возбуждения рыбы после выключения световой точки 2.

2 случай. После выключения очередной световой точки рыба не расходится беспорядочно в разные стороны, а благодаря стайному инстинкту перемещается к горячей световой точке вслед за особями, которые оказались к ней ближе других.

Если световая точка 1 после выключения источника 2 (рис. 8) создает в точке A освещенность глаза рыбы не меньше $E_{\text{п}}^0$, то расчетное уравнение для определения $I_{\text{эф}}$ или a имеет вид

$$E_{\text{п}}^0 = \frac{I_{\text{эф}}}{(a-r)^2} 10^{-\alpha_{\text{ср}}(a-r)}. \quad (17)$$

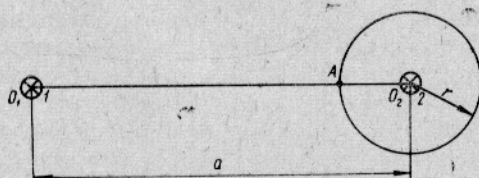


Рис. 8

Если освещенность глаза рыбы, расположенной в точке A , светом источника 2 меньше $E_{\text{п}}^0$, то рыба направляется к световой точке 1 при выполнении двух условий: световая точка 1 должна создавать на одном из глаз рыбы освещенность E_1 не меньшую, чем освещенность E_2 светом источника 2 и разность в освещенности правого и левого глаза рыбы должна превышать пороговую контрастность освещения $k_{\text{п}}$ глаз рыбы. Первое условие выполняется, когда

$$E_2 = \frac{I_{\text{эф}}}{(a-r)^2} 10^{-\alpha_{\text{ср}}(a-r)}, \quad (18)$$

второе, когда

$$\frac{E_{\text{ест}} + E_{\text{р}}}{1 - k_{\text{п}}} = \frac{I_{\text{эф}}}{(a-r)^2} 10^{-\alpha_{\text{ср}}(a-r)} \quad (19)$$

где $E_{\text{ест}}$ — освещенность глаза рыбы естественным светом;

$E_{\text{р}}$ — освещенность глаза рыбы рассеянным светом источника 1.

Таким образом, во втором расчетном случае искомые величины следует находить дважды: из уравнений (17) или (18) и из уравнения (19). Из двух значений следует выбрать то, которое обеспечивает большую освещенность глаз рыбы.

Иногда рыба направляется к соседнему горящему источнику не сразу после выключения очередного источника, а спустя некоторое время. Если при этом положение рыбы изменяется незначительно, то можно пользоваться теми же уравнениями (17), (18) и (19), но подставляя в уравнение (17) вместо E_n^0 пороговое значение, соответствующее времени t .

3 случай. После выключения очередной световой точки рыба, не обладающая достаточным стайным инстинктом, отстает от нее вследствие дрейфа судна или относится течением.

В этом случае освещенность глаза любой из рыб в скоплении (рис. 9) светом соседнего источника должна быть больше, чем E_n сразу же после выключения света или через время t . Если принять за основу самый неблагоприятный случай, когда рыба удаляется в сторону,

противоположную направлению на горящий источник, то задача сводится к решению уравнения (13).

По второму варианту режима работы световой трассы световые точки горят через одну с последующим их переключением (кроме световой точки у залавливающего устройства). Время между переключениями должно быть достаточным для перехода рыбы от одной световой точки к другой. Чтобы при очередном гашении световых точек рыба двигалась к залавливающему устройству, а не от него, необходимо обеспечить большее привлекающее действие световой точки, расположенной ближе к залавливающему устройству, на-

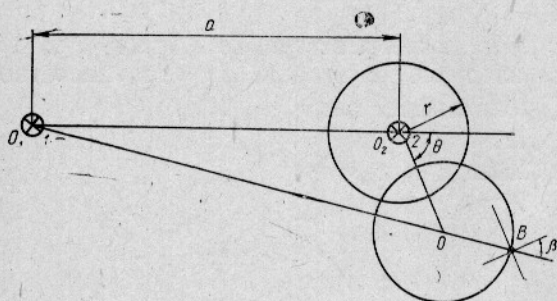


Рис. 9

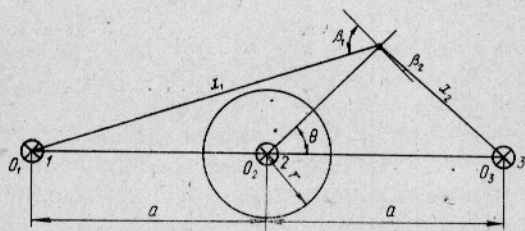


Рис. 10

пример за счет увеличения мощности источников, уменьшения расстояния между ними или применяя осветительные установки с неравномерным угловым распределением света.

Если нужный эффект достигается первым способом, то расчет сводится к определению расстояния между световыми точками и соотношения между мощностями соседних световых точек. Расчет расстояния между световыми точками следует вести, задаваясь мощностью предпоследнего от конца трассы источника. Соотношение между мощностями соседних световых точек можно найти, сравнивая освещенность, которую создают на глазу рыбы у потушенного источника две соседние горящие световые точки. Как и для первого варианта режима работы световой трассы, возможно несколько расчетных случаев в зависимости от особенностей поведения рыбы. Разберем лишь один из них, когда рыба после выключения источника стремительно расходится в раз-

ные стороны. Расчет будем вести для части рыб, уходящих от потушенного источника в направлениях, для которых угол Θ близок к нулю.

Расстояние a между источниками можно найти с помощью формул, полученных из уравнения (13), задаваясь силой света источника 2 (рис. 10).

Чтобы рыба после выключения световой точки 2 пошла в направлении залавливающего устройства, необходимо выполнить следующее условие:

$$\frac{E_1 - E_3}{E_1} = k_n, \quad (20)$$

где E_1 и E_3 — соответственно освещенность глаза рыбы светом источников 1 и 3.

Подставляя в уравнение (20) значения E_1 и E_3 , получим

$$\frac{I_1}{I_3} = \frac{1}{1 - k_n} \left(\frac{a + r + v_p t}{a - r - v_p t} \right)^2 10^{2\alpha_{\text{ср}}(r + v_p t)}. \quad (21)$$

Наименьшее значение I_1/I_3 , как следует из уравнения (21), будет иметь при $t=0$. Однако I_1/I_3 нужно находить с учетом времени сильно возбужденного состояния рыбы после выключения света. Расчеты показывают, что при $t=0$ для вод средней прозрачности $I_1/I_3 = 6 \div 8$, а отношение силы света соседних световых точек составляет 2,5—3,0. Следовательно, даже в этом случае трудно осуществить световую трассу, состоящую более чем из пяти-шести световых точек.

Если движение рыбы к залавливающему устройству достигается по второму способу, то необходимо задаться мощностью световых точек и с учетом этого определить расстояние между последней и предпоследней световой точкой трассы. Далее следует найти, в каком соотношении должны находиться расстояния между соседними источниками. Расчет можно вести с помощью уравнения (21), приняв в нем $I_1 = I_3$ и вводя вместо a — расстояния a_1 и a_2 . Анализ показывает, что расстояние между световыми точками по мере приближения к залавливающему устройству быстро убывает, поэтому таким способом также нельзя осуществить трассу большой длины.

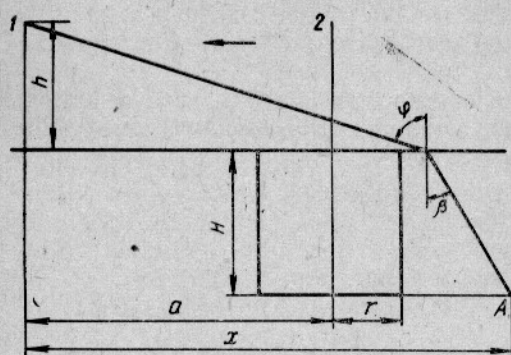
Третий способ позволяет без затруднений осуществлять световые трассы любой длины. Однако кроме обычного исследования поведения рыбы в зоне действия световых трасс, он требует изучения реакции рыбы на неравномерное угловое распределение света источников. Расстояние между световыми точками в этом случае определяют по формулам, полученным для первого варианта режима работы световой трассы.

Мы рассмотрели методику расчета основных параметров световых трасс, образованных подводными источниками, для двух режимов их работы. Первый из них применим при сравнительно небольших концентрациях рыбы, когда залавливающее устройство работает периодически с продолжительным циклом. Второй вариант можно использовать при любой концентрации рыбы, когда залавливающее устройство работает непрерывно или периодически с коротким циклом.

Рассмотрим далее методику расчета надводных световых трасс для тех же вариантов режима работы, считая в первом приближении,

что скопление рыбы под каждой световой точкой трассы имеет форму цилиндра с радиусом основания r и высотой H .

Первый вариант. 1 случай. Освещенность глаза рыбы в точке A (рис. 11) можно найти по приближенной формуле:



$$E_A = \frac{\tau_\varphi I_{\text{эф}}}{\left(\frac{h}{\cos \varphi} + \frac{H}{\cos \beta}\right)^2} 10^{-\alpha_{\text{ср}} \frac{H}{\cos \beta}} \quad (22)$$

Рис. 11

Расчетный угол φ обычно больше 80° , тогда можно считать: $1/\cos \varphi = \operatorname{tg} \varphi_1$, $\beta = 48 \div 49^\circ$ и $\tau = 5 \cos \varphi$. С учетом этого, а также выражений (3) и (10), которые справедливы в рассматриваемом случае, формулу (22) можно записать в следующем виде

$$E_A = \frac{5 I_{\text{эф}} h}{(a + r + v_p t + 0,038 H)(a + r + v_p t - 1,12 H)} 10^{-1,5 \alpha_{\text{ср}} H} \quad (23)$$

Заменив в формуле (23) E_A на E_n^t получим выражение для $I_{\text{эф}}$, при котором рыба перемещается к горячей световой точке:

$$I_{\text{эф}} = \frac{E_n^0}{5h} 10^{1,5 \alpha_{\text{ср}} H - k_1 t_1} (a + r + v_p t + 0,38 H)^2 (a + r + v_p t - 1,12 H). \quad (24)$$

Исследуя уравнение (24) на экстремум, находим t , которому соответствует наименьшее значение $I_{\text{эф}}$:

$$t = \frac{3 - k_1 S_2 - k_1 S_3}{2 k_1 v_p} \pm \sqrt{\left(\frac{3 - k_1 S_2 - k_1 S_3}{2 k_1 v_p}\right)^2 - \frac{k_1 S_2 S_3 - S_1 v_p}{k_1 v_p^2}}, \quad (25)$$

где $S_1 = 3a + 3r - 1,86$; $S_2 = a + r + 0,38 H$; $S_3 = a + r - 1,12 H$.

Полученное выражение для t весьма громоздко. В то же время надводные световые трассы применимы для перемещения рыбы преимущественно в самом поверхностном слое воды (до глубины 10—15 м). В таких случаях в формуле (25) с достаточной для практики точностью члены, стоящие в скобках и содержащие H , можно отбросить. Тогда выражение для t примет вид:

$$t = \frac{3}{k_1} - \frac{a + r}{v_p}. \quad (26)$$

Из выражения (26) следует, что при $t < \frac{a + r}{3v_p}$ значение $I_{\text{эф}}$ следует искать при $t = 0$. Для этого случая уравнение (24) примет вид:

$$I_{\text{эф}} = \frac{E_n^0}{5h} 10^{1,5 \alpha_{\text{ср}} H} (a + r)^3. \quad (27)$$

Если $k_1 > \frac{a+r}{3v_0}$, то экстремум функции лежит в области положительных значений t и найти $I_{\text{эф}}$ можно, подставив значение t в уравнение (24). После небольших преобразований получаем:

$$I_{\text{эф}} = \frac{0,0006 E_n^0}{k_1 h} 10^{1,5\alpha_{\text{ср}} H + \frac{k_1(a+r)}{v_p}} \quad (28)$$

В состоянии сильного возбуждения после выключения световой точки рыба не всегда способна обнаружить слабый свет соседней световой точки, поэтому наряду с подсчетом $I_{\text{эф}}$ по времени t рассмотренным выше способом необходимо определить его по времени $t_{\text{в}}$ сильного возбуждения рыбы после выключения света. Из двух значений $I_{\text{эф}}$ следует выбрать большее.

Для более эффективного использования света источников соотношение между h и $I_{\text{эф}}$ должно быть не произвольным, а определяться по методике, описанной ранее для точечных источников надводного освещения.

2 случай. Условие, при котором рыба перемещается вдоль световой трассы, можно записать для любого времени t , меньшего времени распада скопления под световой точкой после ее выключения. Наиболее определенное решение получаем для $t=0$, когда освещенность в точке A (рис. 12) должна быть равна E_n :

$$E_n^0 = \frac{\tau_{\varphi} I_{\text{эф}}}{\left(\frac{h}{\cos \varphi} + \frac{H}{\cos \beta}\right)^2} 10^{-\alpha_{\text{ср}} \frac{H}{\cos \beta}} \quad (29)$$

Угол φ в этом случае может быть меньше 80° , поэтому принятые ранее приближенные зависимости при определении φ оказываются не всегда пригодными и его следует находить из соотношения (см. рис. 12):

$$\cos \varphi = \frac{h}{\sqrt{h^2 + (a-r-H)^2}} \quad (30)$$

Подставляем значение $\cos \varphi$ в формулу (29) и находим из нее $I_{\text{эф}}$:

$$I_{\text{эф}} = \frac{(\sqrt{h^2 + (a-r-H)^2} + H)^2 E_n^0}{\tau_{\varphi}} 10^{1,5\alpha_{\text{ср}} H} \quad (31)$$

Кроме условия, выраженного в виде формулы (29), для нормальной работы трассы необходимо обеспечить контрастность освещения глаз рыбы, равную k_n . Освещенность глаза, обращенного в сторону горячей световой точки, равна максимальной освещенности E_A в точке A светом световой точки I и освещенности естественным светом $E_{\text{ест}}$; освещенность другого глаза складывается из освещенности этого глаза светом световой точки I , равной очень приближенно $E_A \cos \beta$ (рис. 12),

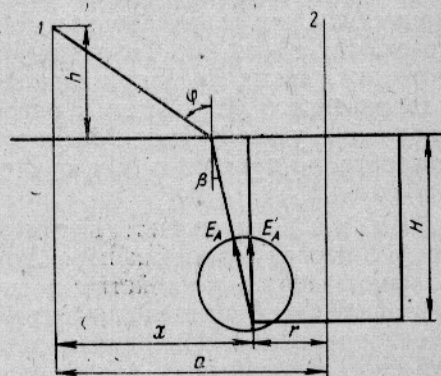


Рис. 12

и освещенности естественным светом $E_{\text{ест}}$. Чтобы рыба обнаружила световую точку I , должно быть выполнено условие:

$$k_{\pi} = \frac{E_A (1 - \cos \beta)}{E_A + E_{\text{ест}}}, \quad (32)$$

откуда

$$E_A = \frac{k_{\pi} E_{\text{ест}}}{(1 - \cos \beta) - k_{\pi}}. \quad (33)$$

Если в формулу (29) вместо E_{π} подставить E_A из выражения (33), то можно определить $I_{\text{эф}}$, которая обеспечит необходимую величину k_{π} . Сравнив эту величину $I_{\text{эф}}$ с полученной по формуле (31), следует выбрать большую.

3 случай. Если принимать во внимание самый неблагоприятный случай, когда рыба удаляется в противоположную сторону от горящего источника, то расчетные уравнения для определения $I_{\text{эф}}$ будут иметь такой же вид и решаться таким же способом, как и уравнения (24), (27) и (28).

Первый вариант режима работы надводных световых трасс можно применять как с предварительной выдержкой со светом всех световых точек, так и без нее. Поскольку рыба не затеняет или слабо затеняет источник, время предварительной выдержки зависит от готовности залавливающего устройства к очередному циклу работы и устойчивости скопления у источника. Рассматриваемый вариант режима работы целесообразно применять для орудий и способов лова с длинным циклом работы.

Второй вариант. Когда световые точки трассы горят через одну с последующим их переключением, перемещение рыбы в сторону залавливающего устройства можно обеспечить увеличением мощности световых точек, расположенных ближе к залавливающему устройству, с одновременным изменением расстояния между ними (источники имеют неограниченный в пределах нижней полусферы угол рассеяния); увеличением угла рассеяния симметричных источников, расположенных ближе к залавливающему устройству; применением симметричных источников, ось симметрии которых повернута относительно вертикали на некоторый угол в сторону, противоположную направлению на залавливающее устройство; применением источников с несимметричным относительно вертикальной оси распределением света.

В первом случае следует задаться высотой расположения крайней от залавливающего устройства световой точки h . По ранее разработанной методике для этой высоты можно определить силу света световой точки, при которой световой поток будет использоваться наиболее рационально, а также найти угол φ_n (рис. 13), ограничивающий зону действия световой точки. По известному углу φ_n далее необходимо построить контуры зоны действия и примерные контуры скопления рыбы под световой точкой (для упрощения мы изображаем скопление рыбы в виде цилиндра). Расположение и необходимые контуры зоны действия световой точки $n-1$ можно найти из условия того, что контуры зоны действия последней световой точки не должны касаться контура скопления под световой точкой $n-1$, а контуры зоны действия световой точки $n-1$ должны охватывать скопление рыбы под световой точкой n .

Определив с учетом этого расстояние между световыми точками, по формуле (24) находим величину $I_{эф}$ для предпоследнего источника. Время t , входящее в эту формулу, выбирается в зависимости от особен-

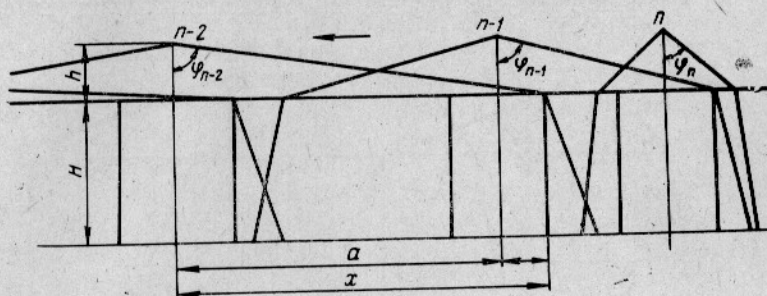


Рис. 13

ностей поведения рыбы так же, как при расчете световой трассы, работающей по первому варианту.

Таким же образом можно определить расположение и параметры других световых точек трассы. Мощность световых точек и расстояние между ними растет очень быстро, поэтому таким способом можно осуществить световые трассы небольшой длины. Кроме того, световой поток всех световых точек, кроме крайних, используется нерационально.

Во втором случае мощность симметричных световых точек можно брать одинаковой или увеличивать по мере приближения световой точки к залавливающему устройству. Последний вариант предпочтительней, так как позволяет использовать мощность световых точек более эффективно.

При заданной высоте расположения световых точек искомыми являются необходимый угол рассеяния φ_i , их мощность и расстояние между ними. Мощность световых точек (имеются в виду световые точки с равномерным в пределах угла рассеяния распределением света) и расстояние между ними определяют так же, как и в первом случае, а необходимый угол рассеяния φ_i получают в результате графических построений.

При осуществлении световой трассы по этому способу рационально применять световые устройства с неравномерным угловым распределением света, однако расчеты в этом случае усложняются.

В третьем случае световые точки можно брать одинаковой мощности, с одинаковым углом рассеяния и располагать на равном расстоянии друг от друга. По заданной высоте подвеса источников и расстоянию между ними необходимо найти мощность, угол рассеяния φ и угол наклона φ_0 оптической оси световых устройств к вертикали (рис. 14).

Углы φ_1 и φ_2 , составляющие угол рассеяния φ , можно найти из следующих соотношений:

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{h}{x_1}; \quad (34)$$

$$h \operatorname{tg} \varphi_2 + H \operatorname{tg} \beta_2 \leq a - r. \quad (35)$$

Силу света световой точки в пределах угла рассеяния можно определить в общем случае по формуле (24).

Очевидно, в этом случае можно использовать симметричные источники с неравномерным угловым распределением света в пределах угла

рассеяния, однако особого эффекта это не даст. Более экономичными являются несимметричные осветительные приборы, у которых сила света в направлениях, противоположных направлению на залавливающее устройство, больше, чем по другим направлениям. Угол рассеяния φ

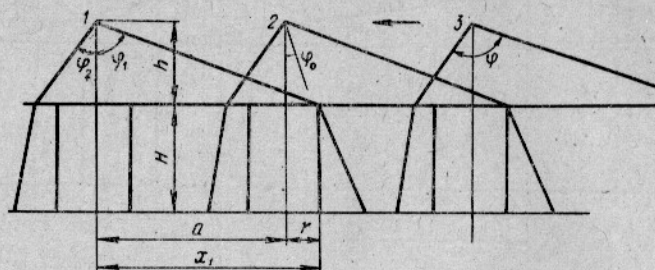


Рис. 14

осветительного прибора в этом случае рассчитывается так же, как и в предыдущем, а необходимое угловое распределение света определяются известными в светотехнике способами.

Второй вариант режима работы надводных световых трасс можно использовать при любой концентрации рыбы, когда залавливающее устройство работает непрерывно или периодически с коротким циклом.

В заключение рассмотрим, какова эффективность световых трасс в зависимости от количества световых точек. Решим эту задачу в первом приближении, считая, что интенсивность попадания рыбы к источнику через единичную площадку равна q , а при переходе от одной точки к другой теряется $(1-m)$ доля рыбы.

Если за эффективность f световой трассы принять отношение количества рыбы, подошедшей к залавливающему устройству, к количеству рыбы, подходящей к единичной световой точке с радиусом зоны действия R , то для первого варианта режима работы световой трассы

$$f = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{a}{2R} \right) (1 - m^{n-1}) + \frac{m(1 - m^{n-2})}{1 - m} \cdot \frac{a}{4R} \sin \alpha, \quad (36)$$

а для второго варианта

$$f = 1 + \frac{m(1 - m^{n-1})}{2(1 - m)}, \quad (37)^*$$

где α — угол между направлением световой трассы и направлением движения рыбы;
 n — количество световых точек односторонней световой трассы.

Как видно из формул (36) и (37), эффективность световых трасс в значительной степени зависит от m . Даже при $m=0,9$ нецелесообразно применять односторонние световые трассы, состоящие более чем из пяти-шести световых точек. По этой причине более перспективны двухсторонние световые трассы, у которых световые точки расположены по обе стороны от залавливающего устройства.

* Уравнение (37) справедливо лишь для больших углов α ($\sin \alpha > \frac{R}{a}$).

СВЕТОВЫЕ ЗАГРАЖДЕНИЯ

Световые заграждения предназначены в основном для концентрации или перемещения в нужном направлении рыбы с отрицательной реакцией на искусственное световое поле. Для рыбы характерна некоторая минимальная освещенность глаз $E_{отп}$, при которой она не проходит заграждение. Эта величина зависит, очевидно, не только от отношения рыбы к свету, но и от вида применяемых в заграждении световых полей. По-видимому, $E_{отп}$ будет меньше при использовании переменных световых полей, которые к тому же экономичнее.

Световые заграждения характеризуются режимом работы, количеством, мощностью и спектральным составом света источников, расстоянием между световыми точками и их относительным расположением, формой и размерами светового заграждения и степенью его подвижности.

Обычно задают размеры и форму светового заграждения, степень его подвижности. Остальные параметры подлежат выбору или расчету.

Рассмотрим методику расчета некоторых вариантов световых заграждений, которые различаются в основном относительным расположением источников.

Первый вариант. Световое заграждение небольшой высоты, в котором источники света расположены в один ряд.

Когда источники света мощностью 50—100 Вт имеют размер зоны действия, примерно равный необходимой высоте заграждения, их следует располагать у верхней или нижней границы заграждения. В обоих случаях целесообразнее применять светильники, образующие «плоское» полукруговое световое поле. Расположение таких светильников у поверхности воды, в общем, предпочтительнее, так как положительное влияние света, отраженного от дна, будет сказываться в большей степени, а количество света, уходящего в воздух, будет, наоборот, меньше.

Определим потребную интенсивность света источников, расположенных у поверхности воды, и расстояние между ними. Расчетная точка A находится у дна на одинаковом расстоянии от двух ближайших источников (рис. 15). Отраженный от дна свет учитывать не будем, считая, что он создает некоторый дополнительный оплугивающий эффект.

Задача состоит в том, чтобы найти максимальную освещенность плоскостей, проходящих через точку A , так как она в первом приближении определяет воздействие светового поля заграждения на рыбу.

Если высота заграждения H , а расстояние между соседними источниками a , то нормальная освещенность E_0 в точке A светом одного из источников O_2 или O_3

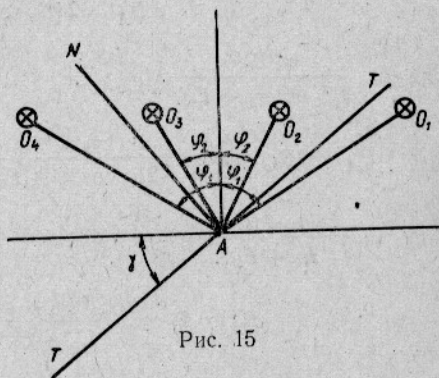


Рис. 15

$$E_0 = \frac{C_p}{\omega \left[H^2 + \left(\frac{a}{2} \right)^2 \right]} \int_0^\infty 10^{-\alpha_1(\lambda)} \sqrt{H^2 + \left(\frac{a}{2} \right)^2} I(\lambda) v_p(\lambda) d\lambda, \quad (38)$$

где ω — телесный угол, в пределах которого излучает источник.

Если источник имеет «плоское» световое поле с углом растворения α и излучает в пределах центрального угла $\beta = 180^\circ$, то

$$\omega = 2\pi \sin \alpha. \quad (39)$$

Нормальную освещенность E'_0 в точке A светом одного из источников O_1 или O_4 можно найти по формуле:

$$E_0 = \frac{C_p}{\omega \left[H^2 + \left(\frac{3a}{2} \right)^2 \right]} \int_0^\infty 10^{-a_1(\lambda)} \sqrt{H^2 + \left(\frac{3a}{2} \right)^2} I(\lambda) v_p(\lambda) d\lambda. \quad (40)$$

Освещенность плоскости в точке A светом четырех источников, когда $\gamma < 90^\circ - \varphi^2$,

$$E_A = 2 \cos \gamma [E_0 \cos \varphi_1 + E_0' \cos \varphi_2]. \quad (41)$$

Освещенность той же плоскости в точке A , когда $90^\circ - \varphi_1 \geq \gamma \geq 90^\circ - \varphi_2$

$$E_A = 2E_0 \cos \varphi_1 \cos \gamma + E_0' \cos (\varphi_2 - \gamma). \quad (42)$$

Наконец, освещенность плоскости в точке A , когда $\gamma > 90^\circ - \varphi_1$,

$$E_A = E_0 \cos (\varphi_1 - \gamma) + E_0' \cos (\varphi_2 - \gamma). \quad (43)$$

В результате исследования уравнений (41), (42) и (43) на экстремум получаем следующие значения максимальной освещенности: для $\gamma = 0$

$$E_A = 2 [E_0 \cos \varphi_1 + E_0' \cos \varphi_2]; \quad (44)$$

$$\text{для } \gamma = \frac{\varphi_2 E_0'}{2E_0 \cos \varphi_1 + E_0'}$$

$$E_A = 2E_0 \cos \varphi_1 \cos \frac{\varphi_2 E_0'}{2E_0 \cos \varphi_1 + E_0'} + E_0' \cos \varphi_2 \left(1 - \frac{E_0'}{2E_0 \cos \varphi_1 + E_0'} \right); \quad (45)$$

$$\text{для } \gamma = \frac{E_0 \varphi_1 + E_0' \varphi_2}{E_0 + E_0'}$$

$$E_A = E_0 \cos \frac{E_0' (\varphi_1 - \varphi_2)}{E_0 + E_0'} + E_0' \cos \frac{E_0 (\varphi_2 - \varphi_1)}{E_0 + E_0'}. \quad (46)$$

При расчете освещенности от четырех источников в общем случае затруднительно определить, какая из трех указанных плоскостей имеет наибольшую освещенность, поэтому необходимо всякий раз находить ориентацию такой плоскости и величину ее освещенности расчетным путем по заданным или найденным значениям φ_1 , φ_2 , E_0 и E_0' .

Если установить, какая плоскость имеет наибольшую освещенность и подставить в соответствующее уравнение вместо $E_1 - E_{отп}$, то получим уравнение, из которого можно найти искомую интенсивность света источников или расстояние между ними, задаваясь одной из указанных величин.

При $I(\lambda)$, соответствующем 50—100 Вт, расстояние между источниками не должно быть менее 1,0—1,5 H , иначе рассматриваемый вариант светового заграждения становится малоэкономичным, и источни-

ки следует располагать в средней по высоте части заграждения (рис. 16).

Будем считать, что светильники в этом случае также имеют «плоское» световое поле с углом раствора α и излучают в пределах

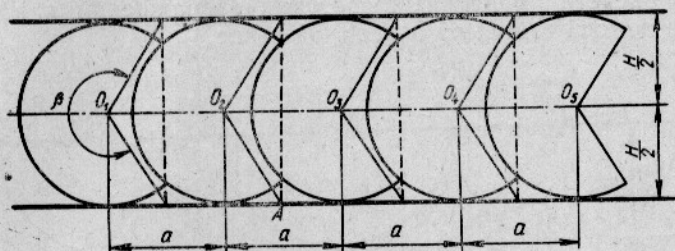


Рис. 16

центрального угла β , высота заграждения H , расстояние между источниками a . Для расчетной точки A нормальная освещенность E_0 светом одного из источников O_2 или O_3 равна:

$$E_0 = \frac{C_p}{\omega_1 \left[\left(\frac{H}{2} \right)^2 + \left(\frac{a}{2} \right)^2 \right]} \int_0^\infty 10^{-\alpha_1(\lambda)} \sqrt{\left(\frac{H}{2} \right)^2 + \left(\frac{a}{2} \right)^2} I(\lambda) v_p(\lambda) d\lambda. \quad (47)$$

Телесный угол ω_1 , в пределах которого излучает источник, можно определить по формуле:

$$\omega_1 = \frac{\pi \beta}{90^\circ} \sin \alpha. \quad (48)$$

Угол β должен быть таким, чтобы прямой свет двух ближайших источников попадал в расчетную точку. Очевидно, это условие выполняется, когда

$$-\operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} > \frac{a}{H}. \quad (49)$$

Нормальная освещенность E_0' светом источника O_4 (свет источника O_1 в точку A не попадает)

$$E_0' = \frac{C_p}{\omega_1 \left[\left(\frac{H}{2} \right)^2 + \left(\frac{3a}{2} \right)^2 \right]} \int_0^\infty 10^{-\alpha_1(\lambda)} \sqrt{\left(\frac{H}{2} \right)^2 + \left(\frac{3a}{2} \right)^2} I(\lambda) v_p(\lambda) d\lambda. \quad (50)$$

Расчетное уравнение для этого случая можно получить, если подставить E_0 и E_0' из уравнений (47) и (50) в одну из формул (44), (45) или (46), считая в ней освещенность светом источника O_1 , равной нулю, и заменяя E_A на $E_{отп}$.

Расположение источников в один ряд можно рекомендовать лишь для такой высоты заграждения, пока потребная мощность источника не превышает 200—250 Вт. При большой высоте заграждения источники необходимо располагать по высоте в несколько рядов. Практически количество рядов вряд ли будет превышать два-три. Так же, как и ранее, необходимо исходить из того, что наиболее экономичны и удобны

в эксплуатации световые заграждения с источниками света мощностью 50—200 Вт.

Возможны несколько вариантов расположения источников в два и три ряда. Наиболее перспективные из них показаны на рис. 17 и 18. Методика расчета подводных световых заграждений в этом случае в принципе не отличается от описанной выше.

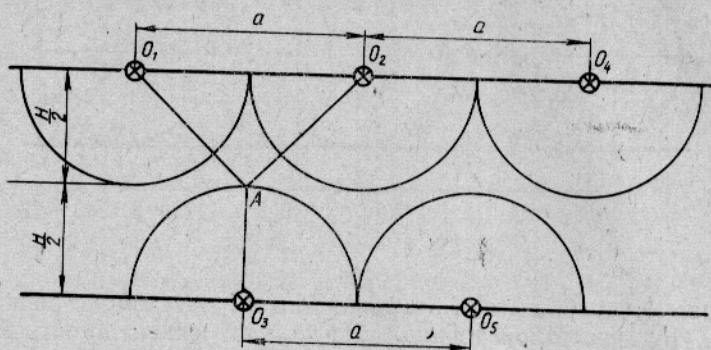


Рис. 17

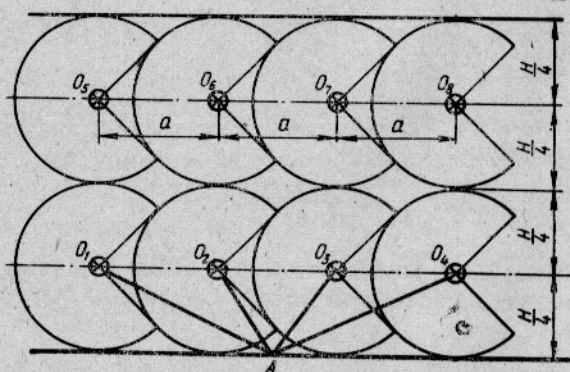


Рис. 18

В световых заграждениях, образованных надводными источниками, расстояние между световыми точками, как правило, велико, и в расчет следует принимать одновременно световой поток не более чем от двух источников. Преломленный луч составляет с вертикалью угол, меньший, чем 49° , поэтому наибольшую освещенность в расчетной точке будет всегда иметь горизонтальная плоскость.

Таким образом, при расчете надводных световых заграждений возможен лишь один случай.

Положение расчетной точки зависит от формы кривых сил света источников; наиболее часто она занимает положение А, показанное на рис. 19.

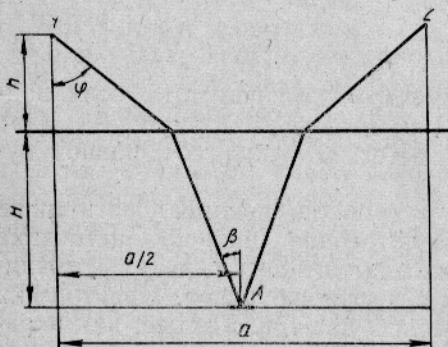


Рис. 19

Освещенность E_A горизонтальной плоскости в точке A светом обоих источников

$$E_A = \frac{2\tau_\varphi \cos \beta C_p}{\left(\frac{h}{\cos \varphi} + \frac{H}{\cos \beta}\right)^2} \int_0^\infty 10^{-z_1(\lambda) \frac{H}{\cos \beta}} I_\varphi(\lambda) v_p(\lambda) d\lambda. \quad (51)$$

Расчетный угол φ обычно превышает 80° , а угол β близок к 45° . Тогда

$$\operatorname{tg} \varphi \approx \frac{1}{\cos \varphi} = \frac{\frac{a}{2} - H}{h}. \quad (52)$$

С учетом этого и после замены E_A на $E_{\text{отп}}$ уравнение (51) примет вид, пригодный для расчета световых заграждений, образованных надводными источниками:

$$E_{\text{отп}} = \frac{7,0 h}{\left(\frac{a}{2} + 0,4H\right)^2 \left(\frac{a}{2} - H\right)} \int_0^\infty 10^{-1,4z_1(\lambda) H} I_\varphi(\lambda) v_p(\lambda) d\lambda. \quad (53)$$

Наиболее удобно при помощи уравнения (53) определять расстояние между источниками a , задаваясь остальными величинами.

В надводных световых заграждениях также целесообразно применять световые приборы с «плоским» распределением светового потока, поскольку поперечные размеры светового заграждения обычно не имеют значения.

При равномерном в пределах нижнего светового пояса распределении света эффективность использования светового потока источников низка, так как непосредственно под источником света высота зоны действия будет значительно превышать расчетную. Поэтому наиболее эффективными будут источники с таким угловым распределением света, которое обеспечивает в некотором интервале x примерно одинаковую высоту светового заграждения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Гершун А. А. Световое поле. ОНТИ НКТП, 1936, 285.
- Исследование подводной освещенности, создаваемой рыболовными светильниками в море. — «Рыбное хозяйство», 1969, № 2, с. 47—50. Авт.: Е. Г. Шарапов, С. Ф. Жуков, М. Н. Кайгородов, Г. Г. Неумин.
- Кириллов В. М. О возможности увеличения добычи анчоуса в Черном море. — «Рыбное хозяйство», 1955; № 8, с. 11—14.
- Мельников В. Н. Определение расстояния, с которого рыба обнаруживает источник подводного освещения. Сборник НТИ ВНИРО, 1966, № 4, с. 91—96.
- Мельников В. Н. Исследование светового поля источника надводного освещения. Сборник рефератов, докладов и сообщений XVII научной конференции Астрыбуза, Астрахань, 1967, с. 23—24.
- Мельников В. Н. Исследование работы совокупности источников надводного освещения при лове рыбы. Сборник рефератов, докладов и сообщений XIX конференции Астрыбуза, Астрахань, 1968, с. 56—57.
- Мельников В. Н. Определение оптимального спектрального состава излучения подводных источников для лова рыбы. Сборник НТИ ВНИРО, 1968, № 4, с. 80—86.

Мешков В. В., Соколов И. И. Курс осветительной техники. М.—Л. Госэнергоиздат, 1960, с. 363.

Никоноров И. В. Лов рыбы на свет. М., «Рыбное хозяйство», 1963, с. 166.

Никоноров И. В. Выбор режима освещения при лове рыбы на свет. — «Рыбное хозяйство», 1965, № 2, с. 48—50, № 3, с. 41—43.

Никоноров И. В. Итоги исследований в области непрерывных методов лова рыбы. — «Труды ВНИРО», 1966, т. 61, с. 95—113.

Никоноров И. В. Поведение рыбы в зоне действия световых трасс. — «Рыбное хозяйство», 1968, № 4, с. 43—45.

Ракай Н. О развитии промысла сардины в народной республике Албании. — «Рыбное хозяйство», 1959, № 5, с. 36—38.

Сидельников И. И. О рациональном использовании светового оборудования на судах, занятых ловом сайры. — «Труды ВНИРО», 1966, т. 61, с. 191—196.

Справочная книга по светотехнике. М., изд. АН СССР, т. 1—1956, т. 2—1958.

Шабанов А. Н. Советские исследователи — основоположники теории лова рыбы на свет. — «Рыбное хозяйство», 1966, № 1, с. 41—44; № 2, с. 43—45.

SUMMARY

Light fishing is based on the usage of various combinations of stationary and movable light fields which are variable as to intensities and quantitative compositions.

The methods of calculating individual above- and underwater sources of illumination, various combinations of above- and underwater sources applied for concentrating fish, for setting up light defences and tracks are suggested. By using the methods it is possible to determine, at the first approximation, a position and parameters of light fishing devices involved in the arrangement of light fields of certain dimensions and forms.