

ZUSAMMENFASSUNG

Bei der Beobachtung der Schallstrahlen setzt man meistens eine konische Form der Richtungscharakteristik voraus. Man kann die entsprechenden Berechnungen durch eine Approximation der tatsächlichen Richtungscharakteristik unter Anwendung eines kegelförmigen Strahlenbündels vereinfachen. Dies stärkt aber die falsche Ansicht, daß die Nebenlappen die Detektionsfähigkeiten der hydroakustischen Systeme nicht beeinflussen. In unserem Artikel wurde eine kurze Beschreibung der Methode der Flächendichte der Strahlen dargestellt, die einerseits das Problem der Berechnung der Feldintensität in den kaustischen Bereichen eliminiert, und es andererseits ermöglicht, die tatsächlichen Richtungscharakteristiken der Ultraschallwandler zu erfassen. Im weiteren Teil des Artikels haben wir einige Beispiele von Verteilungen der Feldintensität angeführt, die von wirklichen Wandlern erzeugt wurden. Außerdem wurde der Einfluß von heterogenen Medien auf die Verzerrungen der Richtungscharakteristiken besprochen.

EINFÜHRUNG

Der Bereich, die Peilungsgenauigkeit und andere Betriebsparameter des Sonargerätes hängen in großem Ausmaß von den lokalen Ausbreitungsbedingungen der akustischen Welle ab, insbesondere aber von den Verteilungen der Tiefenschallgeschwindigkeit. Aufgrund der gemessenen Verteilung der Schallgeschwindigkeit wird also meistens die räumliche Verteilung der Intensität einer akustischen Welle festgelegt. Diese Verteilung zeigt diejenigen Bereiche, in denen das gesuchte Ziel nachgewiesen werden kann, sowie die Schattenzonen, in denen die Intensität des akustischen Feldes zu gering ist, auf daß eine Detektion vorgenommen wird. Die am häufigsten angewandte Methode, die Verteilung der Intensität eines akustischen Feldes festzulegen, setzt voraus, daß die Intensität in umgekehrtem Verhältnis zur Entfernung zwischen zwei benachbarten Schallstrahlen steht, die mit den Methoden der geometrischen Akustik berechnet wird [1]. Dieses Verfahren bringt positive Ergebnisse außerhalb der Sonderstellen (Kaustika), in denen sich die Schallstrahlen durchschneiden. In diesen Bereichen erreicht die berechnete Intensität einen unendlichen Wert, was aber im Widerspruch zum Energieerhaltungsprinzip und zu den Messergebnissen steht [1, 4]. Unten wird die Methode der Flächendichte der Strahlen kurz dargelegt, die das Problem der Kaustika eliminiert [2].

Ein wesentliches Problem bei der Detektion der Objekte mit Hilfe von hydroakustischen Systemen bilden die Nebenlappen, in denen die Schallstärke meistens nur um einige zehn Dezibel schwächer ist, als die Schallstärke auf der Achse des Hauptbündels der Richtungscharakteristik. Berechtigt ist daher die Befürchtung, daß die Detektion des Zielobjektes über einen Nebenlappen erfolgt, was einen ernsten Fehler bei der Einschätzung der Peilung und der Entfernung des Zielobjektes in den Einbündelsystemen zur Folge hat. Es scheint also berechtigt, die wirkliche Richtungscharakteristik der Sende- und Empfangsantenne, und nicht ihre konische Approximation zu berücksichtigen. Eine auf diese Weise durchgeführte Prädiktion der Detektionsbedingungen erlaubt es dem Operator eines hydroakustischen Systems, die möglichen Fehler der Peilung eines Ziels einzuschätzen und entsprechende Maßnahmen zu ergreifen, um diese zu minimieren.

METHODE DER FLÄCHENDICHTE DER STRAHLEN

In der Regel setzt man bei den Methoden der geometrischen Akustik voraus, daß eine bestimmte Leistung der akustischen Welle im Kegel enthalten ist, der von zwei benachbarten Strahlen eingeschränkt ist, welche von der Schallquelle emittiert werden. Die Wellenstärke steht dann in umgekehrtem Verhältnis zur Querschnittsfläche eines solchen Kegels. Wenn sich die Schallstrahlen durchschneiden, hat die Querschnittsfläche den Nullwert und die Intensität erreicht einen unendlichen Wert. Um das Problem der Durchkreuzung von Strahlen zu meiden, hat man angenommen, daß die Wellenleistung im unendlich dün-

nen Rohr enthalten ist, das von einem einzelnen Schallstrahl vertreten ist. Für den Gebrauch der numerischen Berechnungen hat man auch angenommen, daß die Leistung außerhalb der Strahlen gleich Null ist. Aus der Quelle wird in verschiedene Richtungen eine bestimmte Zahl von Strahlen entsandt; jeder von ihnen trägt gewisse Leistung, die sich aus dem Wert der jeweiligen Richtungscharakteristik ergibt. Die gesamte von der Quelle ausgestrahlte Leistung gleicht der Summe der Leistungen, die in allen Strahlen enthalten sind. Die Wellenstärke in einem bestimmten Punkt des Mediums steht in direktem Verhältnis zur Anzahl der Strahlen, welche durch eine bestimmte Fläche durchgehen, die sich rund um diesen Punkt ausweitet. Da die Anzahl der Strahlen begrenzt, und das Flächenfeld konstant und verschieden von Null ist, erreicht die auf diese Weise errechnete Intensität niemals den unendlichen Wert. Die allgemeine Exaktheit der Berechnungen hängt von der Zahl der aus der Quelle entsandten Strahlen ab. Ein Wahlkriterium der Strahlenanzahl kann die für uns interessante Dynamik der Intensitätsveränderungen in dem von den Berechnungen erfaßten Bereich sein.

BERECHNUNGSERGEBNISSE VON VERTEILUNGEN DER FELDINTENSITÄT

In den wirklichen Ozean-, Meeres- oder auch Binnengewässern ist die Form des Profils der Schallgeschwindigkeit meistens ziemlich kompliziert, und in bedeutendem Maße von der geographischen Lage, der Jahreszeit, dem Tag, dem Vorkommen von Meeresströmungen, Flußmündungen und anderen Bedingungen abhängig. Beachtet man den Einfluß der Uneinheitlichkeit des Mediums, in Hinblick auf die Geschwindigkeit der Ausbreitung einer akustischen Welle, auf die Verzerrung der Richtungscharakteristiken, so erscheint es zweckmäßig, sich bei der ersten Approximation auf die einfachen Fälle zu beschränken. Aus diesem Grunde wurden anfänglich die Berechnungen für ein Medium durchgeführt, in dem die Ausbreitungsgeschwindigkeit gleichförmig von 1500 m/s an der Oberfläche bis auf die 1430 m/s in der Tiefe von 70 m sinkt. Die Abbildung 1 stellt die Verteilung der Feldintensität dar wobei eine kegelförmige Richtungscharakteristik der Sendeantenne angenommen wurde.

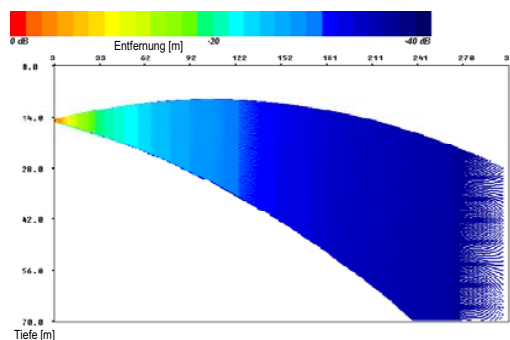


Abbildung 1: Verteilung der Wellenintensität in einem Medium mit einer Schallgeschwindigkeit, die mit der Tiefe sinkt – ein kegelförmiges Bündel.

Die auf der Abbildung 1 sichtbare Bündelverzerrung manifestiert sich vor allem durch die Achsenkrümmung des Bündels zum Boden hin, sowie durch eine allgemeine Erweiterung der Richtungscharakteristik. Zum Vergleich wurde auf der Abbildung 2 die Verteilung der Feldintensität unter Berücksichtigung der Richtungscharakteristik dargestellt, die von der folgenden Formel beschrieben wird:

$$b(\theta) = \left(\frac{\sin(\pi d / \lambda \sin \theta)}{\pi d / \lambda \sin \theta} \right)^2$$

Während die Intensitätsverteilungen der akustischen Welle in einem Medium mit einer variablen Geschwindigkeit, berechnet für Richtungscharakteristiken, die durch ein kegelförmiges Bündel approxi-

miert werden, nur in einem geringen Ausmaß verzerrt zu sein scheinen, so sind die Bilder von Feldintensitäten, die für theoretische Richtungscharakteristiken errechnet werden, stärker verzerrt. Es soll betont werden, daß in beiden Fällen die Berechnungen für ein Medium mit dem gleichen Profil der Schallgeschwindigkeit gemacht wurden.

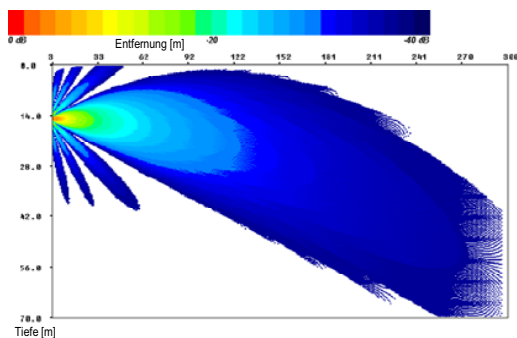


Abbildung 2: Verteilung der Wellenintensität in einem Medium mit einer konstanten Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle.

Für die konischen Bündel bilden die Linien mit einer konstanten Intensität Kreise, die aufgrund der Verzerrung der Skala als gerade Linien erscheinen, welche normal zu den Bündelachse sind. Für Antennen, deren Fläche die Form eines Vierecks haben, weist die Richtungscharakteristik ein deutliches Maximum auf der Hauptachse, wobei eine geringe Abweichung von dieser Achse – natürlich je nach der Breite des Bündels – eine beachtliche und ständige Senkung der Wellenintensität verursacht. Die Linien mit einer festen Intensität sind tränenförmig, was den begründeten Verdacht auf beträchtliche Verzerrungen einer solchen Richtungscharakteristik noch stärkt. Man sollte auch erwähnen, daß die wirklichen Richtungscharakteristiken sich in unwesentlichem Maße von theoretischen Kurven unterscheiden. Die dargestellten Beispiele begründen deutlich die Notwendigkeit, die Richtungscharakteristiken bei der Berechnung von Intensitätsverteilungen zu berücksichtigen. Wie man sieht, hat die Berücksichtigung der Richtungscharakteristiken bei der Prädiktion der Verteilung der Wellenstärke und der Empfindlichkeit der Empfangsantenne einen wesentlichen Einfluß auf die Einschätzung des Detektionsbereiches von Unterwasserobjekten, sowie auf die Uneindeutigkeit der Festlegung ihrer Peilungen.

Um diese Schlußfolgerung deutlicher zu begründen, wurde in der Abbildung 3 die Verteilung der Wellenintensität für eine Antenne dargestellt, die sich in der Tiefe von 38 m befindet, bei der Abweichung 35 Grad von der Horizontalen in Richtung Wasseroberfläche. Diese Abbildung stellt die Situation dar, in der es für ein Medium mit einem akustischen Wellenkanal¹ möglich ist, mit einer höheren Detektionswahrscheinlichkeit ein Zielobjekt zu finden, das sich in einem verzerrten Nebenlappen befindet, als ein Objekt, das sich in derselben Entfernung innerhalb des Hauptbündels befindet.

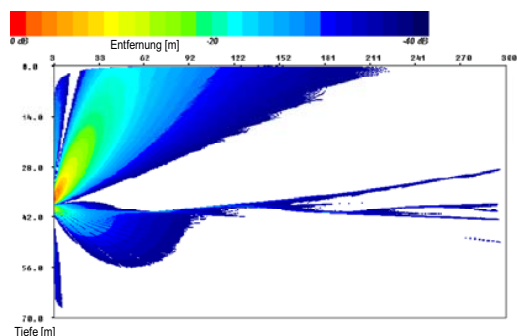


Abbildung 3: Verteilung der Wellenintensität für eine Sendeantenne, die um 35 Grad von der Horizontalen zur Oberfläche hin abweicht. Medium mit einem akustischen Wellenkanal.

¹ Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle sinkt gleichförmig von 1500 m/s an der Oberfläche bis auf 1400 m/s in der Tiefe von 40 m, und dann wächst gleichförmig bis zu 1470 m/s in der Tiefe von 70 m.

Eine ähnliche Situation wurde in einem wirklichen Gewässer beobachtet und gemessen, während der Messungen von Verteilungen der Feldintensität im Wdzydze-See, nur mit dem Unterschied, daß das Schallgeschwindigkeitsprofil typisch für den frühen Sommer in diesem Gewässer war und keinen akustischen Wellenkanal enthielt [3]. Die Abbildung 4 stellt die Situation dar, in der die Systemantenne um 4 Grad von der Horizontalen in Richtung Boden abwich, und die Tiefenverteilung der Wellenintensität in der Entfernung von 50 m gemessen wurde. Die Volllinie markiert die gemessene Verteilung der Wellenintensität, und die Strichlinie – das Ergebnis der numerischen Berechnungen, die mit Hilfe der Flächendichte der Strahlen durchgeführt wurden. Die Verzerrung des Bündels manifestiert sich vor allem durch eine Abweichung des ersten und des zweiten unteren Nebenlappens von den Richtungen, in denen sie sich befinden sollten, wenn es keine Refraktion gäbe, sowie durch eine allgemeine Erweiterung des Hauptbündels und der Nebenlappen.

Bei den Berechnungen wurde das gemessene Schallgeschwindigkeitsprofil berücksichtigt. Die Neigung der Antenne zum Boden hin hat es verursacht, daß der erste Nebenlappen erschienen ist, der die Schichten oberhalb des Hauptbündels beleuchtet. Die Zeichnung zeigt die Übereinstimmung der numerischen Berechnungen mit den wirklichen Messungen was die Schalldruckpegel betrifft, und was noch wichtiger ist, die Übereinstimmung der Richtungen der Bündelachse und der Nebenlappenachse in einem Medium mit einer bedeutenden Refraktion.

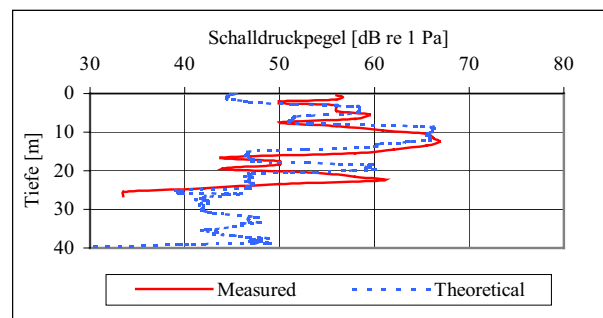


Abbildung 4: Verteilung des Schalldruckpegels – die Sendeantenne weicht um 4 Grad von der Horizontalen in Richtung Boden ab – die Entfernung von der Quelle beträgt 50 m.

Und was noch wichtiger ist, macht uns die dargestellte Situation bewußt, daß die Zielobjektdetektion nicht nur über das Hauptbündel, sondern auch über die Nebenlappen erfolgen kann, und daß die Einschätzung der Richtung des Ziels zu einem ernststen Problem wird.

Wäre das erwähnte Zielobjekt zum Beispiel eine Seemine, und hätten wir die Aufgabe, ihre Peilung und Tiefe zu bestimmen, um sie dann zu neutralisieren, so würde die Berücksichtigung der Nebenlappen und des Einflusses der Refraktion keine weitere Begründung erfordern.

Aus den Erfahrungen der Autoren, die auf zahlreichen Beobachtungen der Arbeit von Hydrolokations- und Hydrokommunikationsstationen auf dem Wdzydze-See und in der Ostsee beruhen, sowie aus den Berichten der Operatoren von hydroakustischen Stationen ergibt sich die Feststellung, daß ähnliche Situationen gar nicht so selten vorkommen, und daß der präzisierte Fall nicht als ein Sonderfall beachtet werden kann. Eine ähnliche Situation wurde in einem realen Gewässer, während der Messungen von Verteilungen der Feldintensität auf dem Wdzydze-See beobachtet und gemessen.

LITERATURHINWEISE

1. BREKHOVSKIKH L.M., Godin O.A., *Acoustics of Layered Media I*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1990
2. GAWRYSIAK J. SALAMON R., *Determining the distribution of acoustic field intensity using the sound ray density method*, Hydroacoustics Vol. 3, Gdynia, 2000
3. GAWRYSIAK J., *Pomiary profili prędkości dźwięku w Jeziorach Wdzydzkich w 1995 roku*. Raport Badawczy Katedry Akustyki Wydziału EIT Politechniki Gdańskiej, 1995.t
4. URICK R.J. *Principles of underwater sound*, McGraw-Hill Company, 1983