

М.Л. Белов, В.А. Городничев, В.И. Козинцев, Б.В. Стрелков

## Обнаружение нефтяных загрязнений на взволнованной морской поверхности с помощью трехлучевого лазерного метода

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, НИИ РЛ

Поступила в редакцию 12.02.2002 г.

Анализируется метод обнаружения нефтяных загрязнений, основанный на зондировании морской поверхности тремя лазерными пучками – вертикально вниз, под углом вдоль линии движения и под углом поперек линии движения. Показано, что использование трехлучевого метода зондирования позволяет независимо контролировать наличие одновременно двух эффектов – сглаживания ветрового волнения и изменения коэффициента отражения водной поверхности и тем самым с высокой достоверностью принимать решения о наличии нефтяных загрязнений.

Обнаружение нефтяных загрязнений методом лазерной локации обычно проводят в инфракрасном диапазоне спектра, измеряя интенсивность отраженного от водной поверхности излучения и определяя контраст между чистой водной поверхностью и нефтяным загрязнением (см., например, [1–3]). Контраст обусловлен двумя причинами: нефть имеет другой коэффициент отражения и сглаживает волнение морской поверхности [4–6].

Лидар при обнаружении нефтяных пленок на поверхности воды может не проводить абсолютных измерений. При полете над морской поверхностью (в самолетном варианте) лидар регистрирует, например, в начале полета сигнал от чистой поверхности воды. При попадании лазерного пятна подсвета на нефтяное пятно (в месте разлива нефти или нефтепродуктов) регистрируемый лидаром сигнал резко возрастает и, соответственно, появляется контраст между исследуемым участком и чистой водной поверхностью.

Для надежного обнаружения нефтяных загрязнений контраст должен быть не менее некоторого порогового значения  $K_r$  (авторы [1] полагают, что надежное обнаружение нефтяных загрязнений в широком диапазоне гидрометеоусловий возможно при  $K_r \geq 1,5$ ).

Метод лазерной локации позволяет надежно обнаруживать нефтяные загрязнения, однако он имеет недостаток – может определять как «нефтяные загрязнения» участки поверхности и без нефти: область с высокой интенсивностью отраженного излучения может быть областью со сглаженным ветровым волнением (слишком на морской поверхности, ветровой тенью за островом) или областью с высоким коэффициентом отражения (коэффициент отражения может меняться не только из-за нефтяных загрязнений). Поэтому контроль только интенсивности отраженного излучения (параметра, комплексно учитывающего оба

эффекта) не может обеспечить высокую достоверность обнаружения нефтяных загрязнений.

На рис. 1 представлена зависимость контраста  $K = P_{oil}/P_w$  от скорости приводного ветра  $U$  ( $P_{oil,w}$  – мощности принимаемых сигналов от исследуемого участка и чистой морской поверхности). Кривая 1 соответствует контрасту «нефть – чистая морская поверхность», 2 – контрасту «слик (участок поверхности со сглаженным ветровым волнением) – чистая морская поверхность», 3 – пороговому значению  $K_r = 1,5$ .

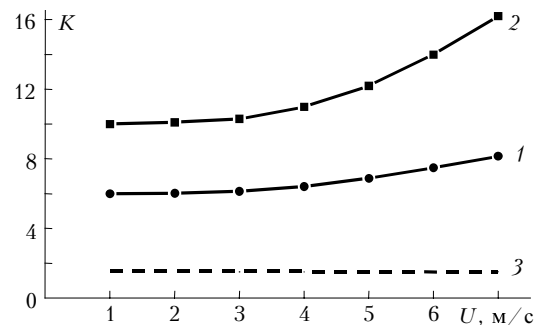


Рис. 1. Зависимость контраста от скорости приводного ветра  $U$

Расчеты проводились по формулам [3] для зондирования в лидар при следующих параметрах: длина волны 1,06 мкм; коэффициенты отражения воды и нефти – 0,02 и 0,04; высота локатора – 1 км; углы расходимости источника и поля зрения приемника – 2 и 3 мрад. Принималось, что для нефтяных пленок дисперсии наклонов поверхности уменьшаются в 3 раза [5, 6], а для слика – в 10 раз. Видно, что контраст оказывается высоким как для нефтяного загрязнения, так и для области слика.

Для повышения достоверности обнаружения нефтяных загрязнений необходимо независимо контролировать наличие одновременно двух эффектов – сгла-

живания ветрового волнения и изменения коэффициента отражения морской поверхности.

Это может быть достигнуто использованием схемы зондирования с тремя узкими лазерными пучками: один пучок направлен вертикально вниз, второй – под углом  $\theta$  вдоль линии полета, третий – под углом  $\theta$  перпендикулярно линии полета. Измеряются мощности  $P_o$ ,  $P_x$ ,  $P_y$  сигналов, регистрируемых при отражении от морской поверхности каждого из трех пучков ( $P_o$  – для пучка, направленного вертикально вниз;  $P_x$  – под углом вдоль линии полета;  $P_y$  – под углом перпендикулярно линии полета). Они используются для вычисления отношений  $P_{x,y}/P_o$ , связанных с дисперсиями наклонов морской поверхности [3, 7]:

$$P_{x,y}/P_o \cong \exp \{-0,5 q_{x,y}^2 / (q_z^2 \gamma_{x,y}^2)\}, \quad (1)$$

где  $q_z = 2\cos\theta$ ,  $q_{x,y} = 2\sin\theta$ ;  $\gamma_{x,y}^2$  – дисперсии наклонов морской поверхности в плоскостях  $XOZ$  и  $YOZ$ .

Формулы (1) используются для вычисления дисперсий  $\gamma_{x,y}^2$  и далее – величин  $M$  и  $N$ :

$$M = (\gamma_x^2 \gamma_y^2)^{1/2}; N = P_o M \cong V^2 A / (8\pi), \quad (2)$$

где  $A$  – некоторая величина (множитель).

Если длительность зондирующего импульса  $\tau$  выбрать так, чтобы  $\tau^2 c^2 / 16 \gg 2\sigma^2$  ( $\sigma^2$  – дисперсия высот морской поверхности), то величина  $A$  не будет зависеть от характеристик морской поверхности.

Таким образом, величина  $M$  содержит информацию только о дисперсиях  $\gamma_x^2$ ,  $\gamma_y^2$ , а величина  $N$  – только о коэффициенте отражения исследуемого участка морской поверхности.

Для принятия решения о наличии нефтяных загрязнений вычисляются  $K_M$ ,  $K_N$  – контрасты величин  $M$ ,  $N$  между исследуемым участком и чистой морской поверхностью:

$$K_M = M_{oil}/M_w, \quad K_N = N_{oil}/N_w, \quad (3)$$

где  $M_{oil}$ ,  $M_w$  и  $N_{oil}$ ,  $N_w$  – значения величин  $M$  и  $N$  для исследуемого участка морской поверхности и чистой морской поверхности.

На рис. 2 приведены зависимости контрастов  $K_M$  (1, 3) и  $K_N$  (2, 4) от скорости приводного ветра  $U$ . Кривые 1, 2 соответствуют контрастам «нефть – чистая морская поверхность», 3, 4 – контрастам «слик – чистая морская поверхность», 5 – пороговое значение  $K_r = 1,5$ . Расчеты проводились по формулам (3) при  $\theta = 0,05$  рад. Остальные параметры те же, что и для рис. 1.

Из рис. 2 видно, что одновременное использование условий  $K_M > K_r$  и  $K_N > K_r$  позволяет с высокой

достоверностью принимать решения о наличии нефтяных загрязнений на морской поверхности.

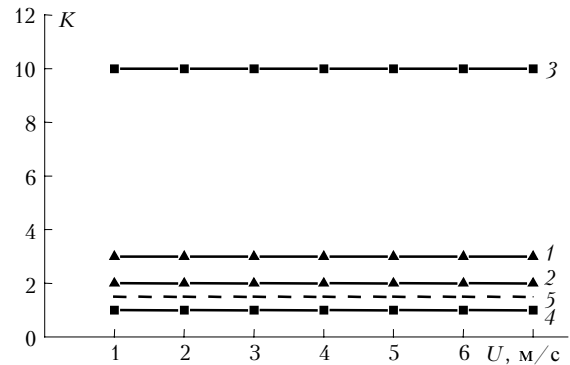


Рис. 2. Зависимость контрастов  $K_M$ ,  $K_N$  от скорости приводного ветра  $U$

Таким образом, лазерный метод обнаружения нефтяных загрязнений, использующий специальную геометрическую схему для облучения морской поверхности, позволяет независимо контролировать наличие одновременно двух эффектов – сглаживания ветрового волнения и изменения коэффициента отражения морской поверхности и тем самым с высокой достоверностью принимать решения о наличии нефтяных загрязнений. Точная фиксация углов зондирования по отношению к нормали является ограничением данного метода и требует принятия специальных мер (например, установки блока излучателя на гиросtabilизированной платформе).

1. Богородский В.В., Кропоткин М.А., Шевелева Т.Ю. Обнаружение нефтяных загрязнений вод сканирующим оптическим локатором // Изв. АН СССР. Физ. атмосф. и океана. 1977. Т. 13. № 12. С. 1317–1322.
2. Опτικο-физические средства исследования океана / Под ред. Е.Г. Пашенко. Л.: Судостроение, 1984. 264 с.
3. Белов М.Л., Городничев В.А. О лидарном зондировании нефтяных пленок на морской поверхности // Оптика атмосф. и океана. 1996. Т. 9. № 8. С. 1126–1130.
4. Гуревич И.Я., Шифрин К.С. Отражение видимого и ИК-излучения нефтяными пленками на море // Оптические методы изучения океанов и внутренних водоемов. Новосибирск: Наука, 1979. С. 166–176.
5. Гардашов Р.Г., Гуревич И.Я., Шифрин К.С. Отражение оптического излучения от взволнованной морской поверхности, покрытой нефтяной пленкой // Оптика атмосферы и океана. Баку: Элм, 1983. С. 33–44.
6. Cox C., Munk W. Measurement of the roughness of the sea surface from photographs of the sun's glitter // J. Opt. Soc. Amer. 1954. V. 44. N 11. P. 838–850.
7. Белов М.Л., Орлов В.М. Временная структура лидарного сигнала при импульсном зондировании взволнованной морской поверхности // Оптика атмосф. и океана. 1992. Т. 5. № 3. С. 300–308.

*M.L. Belov, V.A. Gorodnichev, V.I. Kozintsev, B.V. Strelkov. Detection of oil spills on rough sea surface using three-beam laser method.*

A method for detection of oil spills based on sounding of the sea surface by three laser beams: vertically downwards, at an angle along a line of movement and at an angle across a line of movement, is considered. It is shown that the three-beam laser method allows independent control of two effects: smoothing of wind roughnesses of sea surface and variation of the reflection coefficient and therefore detection of oil spills with high reliability.