

УДК 622.244

**В. С. Слипенький<sup>1</sup>, Ю. Д. Бессонов<sup>2</sup>, В. Ф. Сирик<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Казённое предприятие «Южукргеология», г. Днепропетровск, Украина

<sup>2</sup>Национальный горный университет, г. Днепропетровск, Украина

<sup>3</sup>Завод бурового оборудования, г. Днепропетровск, Украина

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СТЕНДОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО УСИЛИТЕЛЯ ОСЕВОЙ НАГРУЗКИ**

*The basic results of stand researches of hydrodynamic strengthener of axle loading are in-process resulted.*

Особенностью технологии сооружения скважин большого диаметра является необходимость создания больших осевых нагрузок на долото. При бурении скважины диаметром 300–350 мм даже в мягких породах необходимо обеспечивать осевую нагрузку до 150 кН и более. Создание таких нагрузок самоходными буровыми установками ограничены их техническими возможностями. Скважины большого диаметра сооружаются обычно путём последовательного расширения пилот – скважины, что негативно отражается на производительности и стоимостных показателях.

Предложено новое техническое устройство для создания дополнительной к весу бурового инструмента нагрузки на долото – гидродинамический усилитель осевой нагрузки (ГУОН), защищённое патентом Украины UA № 37966 С2. ГУОН представляет собой техническое устройство в виде погружной машины гидросилового действия, устанавливаемой непосредственно над долотом или колонковой трубой.

Опытно-промышленная проверка показала, что конструкция ГУОН работоспособна и может применяться для бурения скважин без реконструкции буровой установки [1].

Экспериментальный образец ГУОН имеет трубчатый корпус, в котором размещён гидравлический генератор гидроударных волн, действующих с определённой частотой через жесткий ограничитель (отражатель) на долото. Конструктивная схема экспериментального ГУОН с установленными на нём датчиками представлена на рис. 1.

Принцип действия машины основан на использовании явлений возникновения и развития гидравлического удара в неоднородном напорном трубопроводе (бурильных трубах) с многократным отражением волны в рабочей камере длиной 1,5 – 2,0 м. Многократное отражение гидроударной волны увеличивает амплитуду гидросилового действия на долото, жестко связанного с рабочей камерой машины.

ГУОН работает следующим образом. Устройство опускают в скважину на бурильных трубах. Не доводя его до забоя, подают от насоса промывочную жидкость. Из-за наличия шлицевого соединения, клапан под действием пружины приподнят вверх относительно корпуса. Между нижним торцом клапана и клапанной втулки образуется зазор, через который промывочная жидкость свободно подаётся к забою скважины.

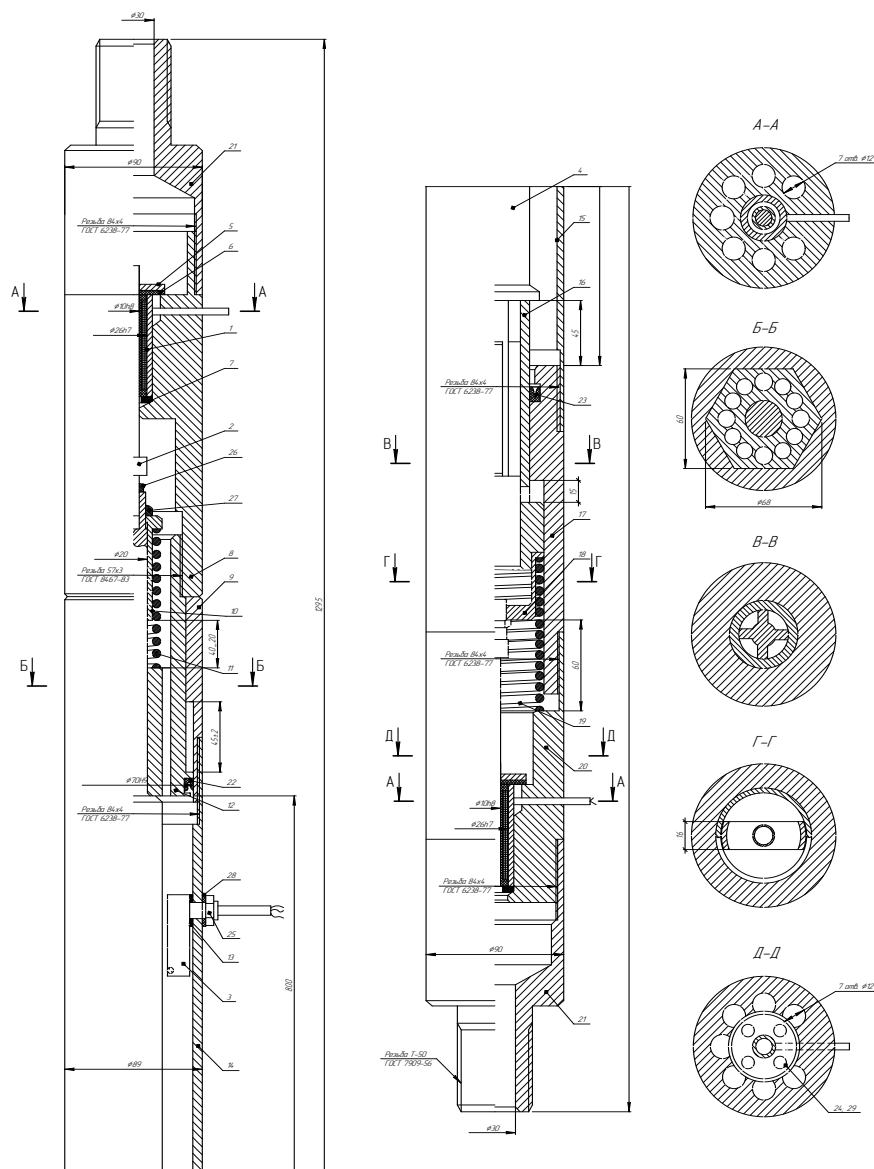


Рис. 1. Схема экспериментального образца гидродинамического усилителя осевой нагрузки: 1 – датчик скорости; 2 – соединительная муфта; 3 – датчик давления; 4 – клапан; 5, 7 – шайбы упорные; 6 – прокладка; 8 – верхняя опора датчика скорости; 9 – шлицевой корпус; 10 – регулировочная гайка; 11 – пружина клапана; 12 – шлицевая втулка; 13 – уплотнительная шайба; 14 – корпус; 15 – рабочая камера; 16 – клапанная втулка; 17 – нижняя соединительная муфта; 18 – соединительный элемент; 19 – пружина клапанной втулки; 20 – нижняя опора датчика скорости; 21 – верхний (нижний) переходники; 22, 23 – уплотнения; 25, 26, 27 – стопорящие гайки.

При постановке долота на забой, шлицевая втулка перемещается вниз вместе с клапаном. Клапан нижним торцом перекрывает отверстие в клапанной втулке. В рабочей камере создаётся гидравлический удар, который в виде прямой волны движется по жидкости вверх. Отраженная от неоднородности соединения с бурильными трубами обратная волна увеличивает амплитуду прямой волны. В этот момент гидродинамическая волна начнёт действовать на клапан, перемещая его вниз.

Перемещающаяся по камере гидроударная волна увеличивается по амплитуде за счёт отражений до тех пор, пока клапан не остановится посредством упора в шлицевую втулку. Клапанная втулка по инерции продолжает движение вниз, сжимая свою пружину. Между клапаном и клапанной втулкой образуется зазор, в который устремляется жидкость. Давление в камере резко снижается. Клапан под действием пружины движется вверх до исходного положения.

Клапанная втулка сначала по инерции перемещается вниз, сжимая свою пружину, а затем под действием сжатой пружины перемещается вверх до контакта с клапаном. Поток жидкости перекрывается, происходит новый гидравлический удар и колебательный цикл повторяется.

Расчётные показатели технической характеристики приведены в табл. 1.

Таблица 1. Техническая характеристика ГУОН-89

| № п/п | Показатели                               | ГУОН-89     |
|-------|--|-------------|
| 1     | Диаметр корпуса, мм                      | 89          |
| 2     | Подача промывочной жидкости, л/мин       | 240 – 360   |
| 3     | Амплитуда гидродинамической нагрузки, кН | 10 – 15,2   |
| 4     | Перепад давление, МПа                    | 0,62 – 0,96 |
| 5     | Мощность гидравлическая, кВт             | 2,5 – 5,76  |
| 6     | Частота динамических нагружений в мин    | 960 – 1440  |
| 7     | Коэффициент полезного действия, %        | 82 – 80     |
| 8     | Длина рабочей камеры, мм                 | 1000        |
| 9     | Диаметр бурильных труб, мм               | 50          |
| 10    | Длина, мм                                | 1360        |
| 11    | Масса, кг                                | 37          |

Работы выполнены на кафедре техники разведки МПИ Национального горного университета на буровом стенде (рис. 2). Буровой станок ЗИФ-650 МЭ и насос НБ-32 оснащены приводами с плавным регулированием частоты вращения, что позволило проводить испытания в широком диапазоне параметров характеристики ГУОН.

От насоса поток жидкости через систему подводящего жесткого трубопровода, имеющего задвижку, манометр, воздушный компенсатор, сальник движется к объекту испытаний. Общая длина подводящего трубопровода из бурильных труб диаметром 63,5 мм составляла 15 м. Непосредственно над экспериментальным устройством устанавливалась бурильная труба диаметром 50 мм длиной 3 м. Такая компоновка нагнетательного трубопровода позволяет регистрировать без искажения (т. е. влияния отраженной от компенсатора гидроударной волны) длительность рабочего хода клапана  $t_p = 0,032$  с.

Буровой станок служит для стабилизации жесткой части трубопровода и для включения и выключения ГУОН. На гидродинамическом преобразователе установлены датчик скорости и датчик давления. Расположение датчика давления может быть в верхней или в нижней части рабочей камеры. От датчиков электрический сигнал передается через усилитель к осциллографу. Для измерения и регистрации исследуемых параметров применялись безинерционные преобразователи с линейной характеристикой в исследуемых диапазонах.

Одной из задач стендовых исследований является определение рационального диапазона расхода промывочной жидкости, обеспечивающего устойчивую работу ГУОН. Важным этапом создания гидродинамического усилителя осевой нагрузки является также установление диапазона регулирования энергетических показателей рабочей характеристики при изменении конструктивных и технологических параметров.

Предварительно были определены постоянные параметры устройства, зависящие от его конструктивного исполнения. Такими параметрами являются коэффициент расхода ( $p_0$ ) и средний перепад давления в режиме свободной прокачки промывочной жидкости через устройство ( $p_n$ ). Прямые измерения при прокачке через устройство воды в количестве 240–300 л/мин показали, что коэффициент расхода находился в пределах  $p_0 = 0,94 – 0,95$ , а средний перепад давления  $p_n = 0,3 – 0,35$  МПа, что характерно для серийных гидроударных машин [2].

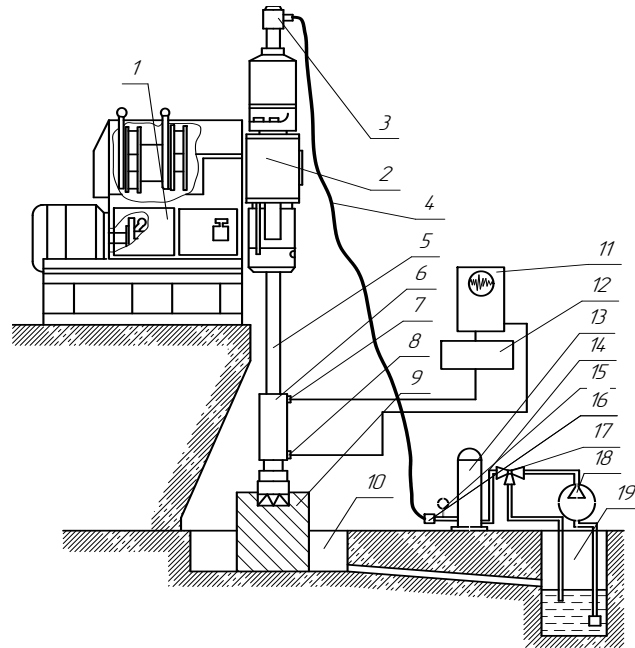


Рис. 2. Схема бурового станка: 1 – буровой станок; 2 – шпиндель станка; 3 – сальник; 4 – напорный шланг; 5 – ведущая штанга; 6 – ГУОН; 7 – датчик скорости; 8 – датчик давления; 9 – блок породы; 10 – приямок; 11 – осциллограф; 12 – усилитель; 13 – воздушный компенсатор; 14 – жесткий напорный трубопровод; 15 – манометр; 16 – расходомер; 17 – трёхходовой кран; 18 – насос; 19 – зумпф

На начальном этапе обращалось внимание на качественную сходимость экспериментальной и теоретической циклограмм рабочего процесса. Для этого выполнено прямая запись скорости движения клапана относительно корпуса и давления жидкости в рабочей камере во времени (рис. 3).

Приведенная на рис. 2 осциллограмма зафиксировала определённый интервал во время работы ГУОН-89 на стенде при расходе жидкости  $Q=235$  л/мин и конструктивных параметрах настройки: масса клапана –  $m_k=8,5$  кг, ход клапана  $x_k=12$  мм, ход клапанной втулки  $x_{вт}=16$  мм, жесткости пружин клапана и клапанной втулки, соответственно,  $z_k=21000$  Н и  $z_{вт}=4200$  Н.

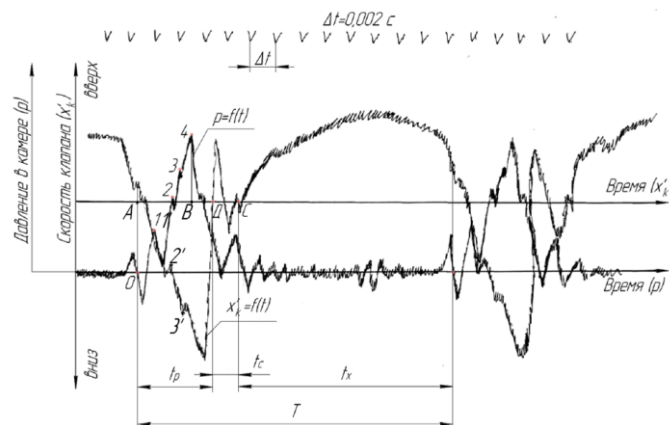


Рис. 3. Обобщённая осциллограмма скорости клапана ( $x'_k$ ) и давления ( $p_n$ ) в верхней части рабочей камере

Сравнение кривых давления и скорости клапана приведенных на осциллограмме рис. 3 и теоретической циклограмме [3] рис. 4 указывает на то, что хорошо согласуются не только скачкообразное изменение динамического давления в рабочей камере из-за отражений гидродинамической волны в рабочей камере (точки 1, 2 и 3 на кривой  $p=f(t)$ ), но и неравномерное

(скачкообразное) изменение скорости движения клапана (точки 1', 2' и 3' на кривой  $\dot{y}_k=f(t)$ ). По характерным точкам: A, B, Д, С, E фиксируются на осциллограммах продолжительности: пробега волны по рабочей камере –  $t$ , рабочего хода  $t_p$ , свободного хода  $t_c$ , холостого хода  $t_x$  и рабочего цикла  $T$  в целом. Таким образом, подтверждается правомерность выделения отдельных фаз рабочего цикла гидродинамического устройства.

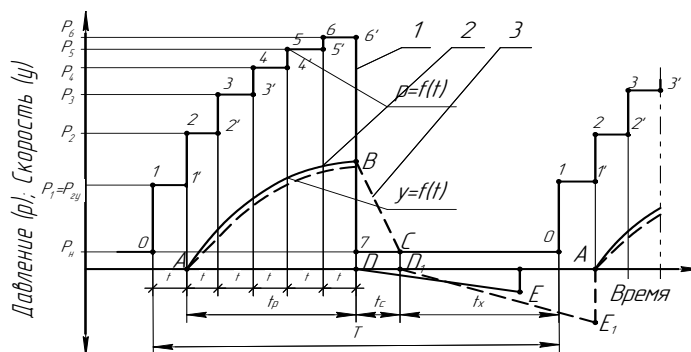


Рис. 4. Теоретическая циклограмма давления жидкости в верхнем сечении рабочей камеры и скоростей перемещения клапана и клапанной втулки за время рабочего цикла: 1 – давление в зоне нижней отражающей плоскости рабочей камеры; 2 – скорость клапана; 3 – скорость клапанной втулки;  $p_{2y}$  – давление гидроудара;  $p_n$  – начальное давление в рабочей камере;  $p_6$  – максимальное давление в рабочей камере и давление в нижней зоне камеры в конце рабочей фазы клапана;  $p_{ов} = p_2 - p_1$  – прирост давления в камере за счёт эффекта отражения в неоднородном трубопроводе;  $t = l/c$  – время прохождения волны по рабочей камере;  $t_p$ ,  $t_c$  и  $t_x$  – соответственно время рабочего, свободного и холостого хода

На рис. 5 приведены совмещённые осциллограммы скорости клапана серии опытов при других параметрах настройки гидродинамического устройства: ход клапана 21мм, свободный ход клапанной втулки 5 мм и для более широкого диапазона производительности насоса (1,5–4,5 л/с).

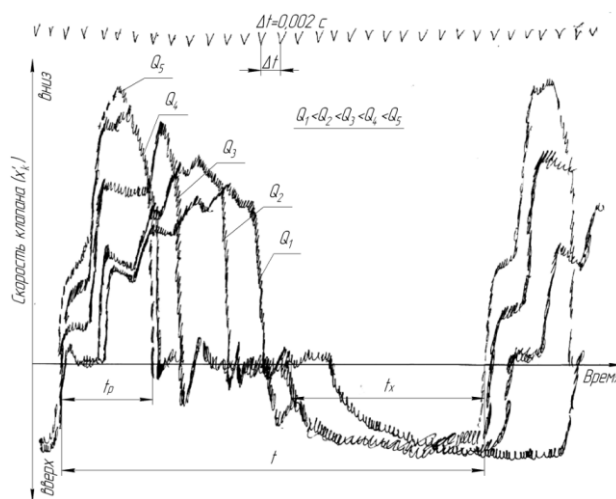


Рис. 5. Совмещённые осциллограммы скорости клапана при различной производительности насоса

Результаты обработки осциллограмм приведены в табл.2.

Таблица 2. Результаты обработки осциллограмм на различных расходах промывочной жидкости

| Расход жидкости л/с | Длительность фазы рабочего хода, с | Длительность фазы свободного хода, с | Длительность цикла, с | Частота нагружений Гц | Скорость клапана в конце рабочего хода, м/с | Амплитуда давления экспер./расч., МПа |
|---------------------|------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|---|---------------------------------------|
| 1,5                 | 0,026                              | 0,004                                | 0,06                  | 16,6                  | 1,55  | 0,8/1,0                               |
| 2,2                 | 0,020                              | 0,004                                | 0,058                 | 17,3                  | 1,82  | 1,1/1,3                               |
| 3,1                 | 0,015                              | 0,003                                | 0,054                 | 18,5                  | 2,05  | 1,7/2,1                               |
| 3,6                 | 0,013                              | 0,003                                | 0,050                 | 20,0                  | 2,23  | 1,8/2,3                               |
| 4,4                 | 0,012                              | 0,003                                | 0,049                 | 20,5                  | 2,5   | 2,3/2,9                               |

Для наглядной оценки сходимости расчётных и экспериментальных данных на рис. 6 приведена зависимость амплитуды динамического давления от расхода промывочной жидкости, полученных расчётным и экспериментальным путём. Амплитуда динамического давления линейно зависит от расхода промывочной жидкости. Отклонения рассчитанных и экспериментальных амплитуд давления не превышают 23%.

В ходе экспериментальных исследований экспериментальный образец гидродинамического усилителя устойчиво работал при указанном диапазоне расхода промывочной жидкости: 1,5 – 5,0 л/с (90 – 300 л/мин.) и приведенных выше параметрах настройки.

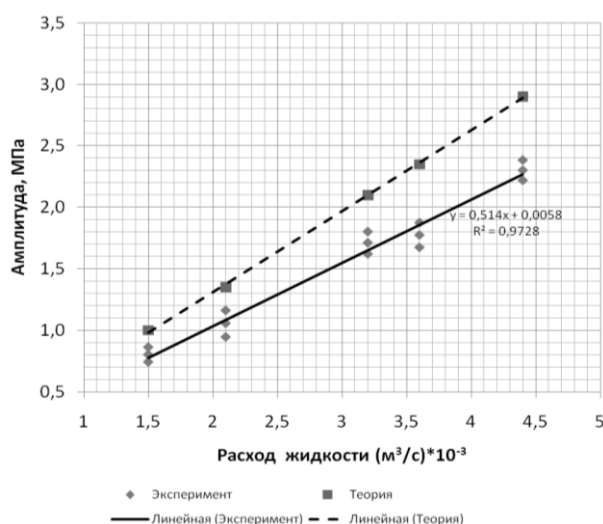


Рис. 6. Зависимость амплитуды давления от расхода промывочной жидкости

Полученные данные позволяют сделать следующие выводы:

- сравнение расчётных и полученных экспериментальным путём параметров характеристики указывает на адекватность физической и математической моделей, поскольку расхождения не превышают 23%, т.е. находятся в пределах, допускаемых для инженерных расчётов.
- рост гидродинамического давления и, соответственно, амплитуды гидродинамического нагружения, в рабочей камере на фазе рабочего хода клапана носит скачкообразный характер из-за многократных отражений гидроударной волны от элементов рабочей камеры;
- на пути фазы разгона клапан движется почти равноускоренно следуя за ростом гидродинамического давления в рабочей камере;
- продолжительность рабочей фазы зависит от расхода жидкости, уменьшаясь при увеличении расхода;
- амплитуда гидродинамических нагружений пропорциональна производительности насоса в диапазоне 1,5 – 3,0 л/с;

– частота динамических нагрузений на дно рабочей камеры плавно увеличивается от 16 до 25 Гц в диапазоне производительности насоса 1,5 – 5,0 л/с.

### Выводы

1. Экспериментальный образец гидродинамического усилителя осевой нагрузки и стендовый измерительный комплекс позволяют регистрировать основные параметры и выделять отдельные фазы рабочего цикла.
2. Уточнённые экспериментом аналитические решения применимы для прогнозирования параметров энергетической характеристики ГУОН;
3. Экспериментальный образец усилителя устойчиво работает в диапазоне расхода промывочной жидкости 1,5 – 5,0 л/с (90 – 300 л/мин.);
4. Амплитуда гидродинамических нагрузений пропорциональна производительности насоса в диапазоне 1,5 – 3,0 л/с, а частота динамических нагрузений увеличивается от 16 до 25 Гц.

### Литература

1. Бессонов Ю.Д., Слипенький В.С. Опыт вращательного бурения скважин с применением гидродинамического усилителя осевой нагрузки. /В сб. научных трудов - Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения.– Киев: ИСМ им. В.Н.Бакуля НАН Украины. – 2007. – вып. 10. – С. 134–138.
2. Ясов В.Г. Теория и расчет рабочих процессов гидроударных буровых машин. – М.: Недра, 1977. – 153 с.
3. Слипенький В.С. Визначення енергетичних характеристик гідродинамічного вібробура. // Зб. Нафтова і газова промисловість. – 2002. – № 6. – С 22–25.

*Поступила 20.06.10*

УДК 622.244

**А. И. Вдовиченко**, член-корр. акад. технолог. наук Украины

*Союз буровиков Украины, г. Киев*

## **РОЛЬ СОЮЗА БУРОВИКОВ УКРАИНЫ В ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВЫХ ИДЕЙ, РАЗРАБОТОК И ПРЕДЛОЖЕНИЙ В ПРАКТИКУ БУРОВЫХ РАБОТ**

*The practical experience and the role of the Union Drilling of Ukraine to improve the effectiveness of using new ideas and developments and proposals in the practice of drilling: Problems and Solutions.*

Буровые работы имеют важное значение в развитии общественного производства. Бурение скважин – основной вид работ при геологическом изучении земных недр, поиске и разведке месторождений полезных ископаемых. Без бурения невозможна добыча таких жизненно важных минерально-сырьевых ресурсов, как нефть, газ и подземные воды. Бурение широко используют при строительстве, в горных работах, экологических исследованиях, для предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

В дальнейшем с увеличением глубин использования недр и объемов добычи минерально-сырьевых ресурсов, а также для решения сложных экологических проблем, преду-