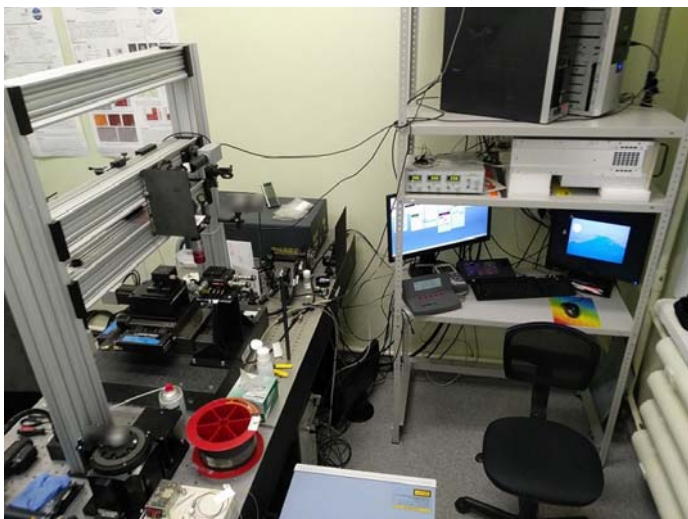




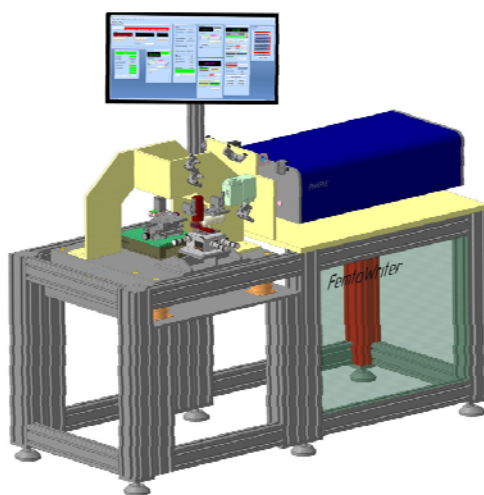
**ПРОМЫШЛЕННАЯ УСТАНОВКА ПО ЗАПИСИ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ  
РЕШЕТОК С ПОМОЩЬЮ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ВОЛОКОННОГО ЛАЗЕРА**

На основе лабораторного макета установки для записи волоконных брэгговских решеток (ВБР) с помощью фемтосекундного лазера (рис. 1) создается производственная установка (рис. 2), обладающая высокой стабильностью режимов записи для серийного выпуска волоконных решёток, которые является чувствительным элементом волоконно-оптических сенсоров. Волоконно-оптические сенсоры востребованы во многих областях промышленности, поскольку они обладают следующими ключевыми преимуществами по сравнению с традиционными тензометрическими датчиками физических величин: малый вес и габариты, помехоустойчивость, пожаробезопасность, высокая чувствительность, возможность расположения на одном сигнальном канале большого количества сенсоров, возможность использования в средах с повышенным радиационным фоном и химически агрессивных средах. Это подтверждается растущим ежегодно рынком волоконно-оптических сенсоров, который по прогнозам экспертов достигнет в 2018 г. объема 4,3 млрд. \$.

Автоматизированная производственная установка (рис. 2) позволит создавать волоконные брэгговские решетки фемтосекундным излучением волоконного лазера в специализированных оптических волокнах без удаления защитного покрытия с производительностью не менее 10 шт. в час, для ВБР-датчиков и ВБР-фильтров.



*Рис. 1 Лабораторный макет установки по записи волоконных брэгговских решеток с помощью фемтосекундного лазера*



*Рис. 2 Макет высокопроизводительной установки по выпуску в промышленных масштабах волоконно-оптических сенсоров*

На сегодняшний день ВБР производятся в основном по технологии записи с использованием УФ лазерного излучения и фоточувствительных оптических волокон. Данные ВБР имеют ограниченный рабочий диапазон по температуре ( $<150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и деформации ( $<1\%$ ), что ограничивает области их практического использования. Кроме того, ВБР, записанные по УФ технологии деградируют с течением времени при длительном воздействии высокой температуры, а также в среде с повышенным радиационным фоном.

Успехи в создании фемтосекундных лазеров, генерирующих ультра-короткие импульсы длительностью  $\sim 100\text{ фс}$  ( $1\text{ фс} = 10^{-15}\text{ с}$ ), открыли новые возможности в создании волоконно-оптических сенсоров, поскольку при данной длительности импульсов меняется характер взаимодействия излучения с веществом и изменение показателя преломления происходит за счет других физических механизмов, чем в случае УФ технологии записи. Данные отличия

сказываются и на физических свойствах волоконно-оптических сенсоров, созданных по технологии фемтосекундной модификации показателя преломления:

1. существенно расширяется температурный диапазон (до 1200 °С в случае использования сапфировых оптических волокон).
2. рабочий диапазон по деформации также расширяется за счет записи без разрушения защитного пластикового покрытия, которое удаляется путем механического воздействия в случае применения УФ технологии.
3. возможность использования любых оптических волокон, что позволяет создавать сенсоры для мониторинга в средах с повышенным радиационным фоном и химически агрессивных средах.

По этой причине технология создания ВБР с помощью фс лазерного излучения является более перспективной, поскольку позволяет охватить наибольшее количество потенциальных областей применения ВБР.

#### **Технические параметры:**

- Коэффициент отражения от 1 до 99%;
- Длина ВБР 0.1-10 см;
- Спектральная ширина 10 пм – 10 нм;
- Диапазон относительных деформаций до 2%  
(чувствительность - до 0,0001%);
- Диапазон рабочих температур для высокотемпературных датчиков до +350 °С  
(чувствительность – до 0,1<sup>0</sup>);
- Устойчивость к наведенным потерям, вызванным высокой концентрацией водорода в окружающей среде (потери менее 0,17 дБ/км при воздействии водорода при 150 °С, 1 атм, 20 часов);
- Устойчивость к наведенным потерям, вызванным радиационным излучением: менее 1дБ/км при поглощенной дозе до 27 Гр и длительности воздействия до 50 нс (менее 30 дБ/км при мощности дозы 0,73 Гр/с и макс. дозе 10 кГр);
- Параметр чирпа для чирпованных ВБР 1нм/см;
- Профиль аподизации для аподизированных решеток гаусс, супергаусс.

Стоимость одиночной ВБР с типичными параметрами – 2-3 тыс. руб.

#### *Уровень практической реализации:*

Создан экспериментальный макет установки (совместно с НГУ) для штучной/мелкосерийной записи ВБР с помощью импортного твердотельного фемтосекундного лазера. Отработка узлов промышленной установки (рис.2) ведется совместно с ООО «Фемтотех», созданного Институтом по 217-ФЗ. Разработан экспериментальный образец волоконного фемтосекундного лазера с целью замены импортного твердотельного, используемого в экспериментальном макете установки.

#### *Области применения, с указанием возможных промышленных партнеров:*

Серийное производство волоконных брэгговских решеток (ВБР), которые широко применяются в качестве оптоволоконных датчиков для мониторинга состояния механических конструкций объектов капитального строительства (мосты, тоннели, здания), в газо- и нефтедобыче и транспортировке, энергетике, а также встраиваются в композитные материалы для создания «умных материалов», использующихся в авиации и космонавтике. Кроме сенсорных систем, ВБР применяются также в телекоммуникациях и лазерной обработке материалов в качестве спектральных фильтров волоконных лазеров.

**Потенциальные потребители:** ПАО «Газпром», ПАО «НК «Роснефть», ПАО «РусГидро», ОАО «АК «Транснефть», ПАО «Россети», ОАО «ПНППК», ООО «Инверсия-Сенсор», госкорпорации

«Росатом» и «Роскосмос», ПАО «Компания „Сухой“», Airbus, Boeing, ФГУП «ВИАМ», организации РАН, ФАНО и Минобрнауки и др.



Сенсорные системы встроены ООО "Инверсия-Сенсор":  
а - в фундамент и консоли здания Новосибирского Технопарка на этапе строительства;  
б - в несущие конструкции крыши футбольного стадиона "Заря" в г. Новосибирске  
в - в силовой турбогенератор ОАО "Силовые машины" (Санкт-Петербург).

#### *Патентная защита:*

- Ноу-хау «Система фемтосекундной записи на основной и второй гармонике лазера с длиной волны 1030 нм». Приказ №2 о введение режима конфиденциальности в отношении РИД от 28.20.2012. Авторы: А.В. Достовалов, С.А. Бабин, В.К. Мезенцев. Владелец - ИАиЭ СО РАН
- Патент РФ «Способ изготовления волоконных брэгговских решеток в нефоточувствительных волоконных световодах», положительное решение от 13.01.2017 о выдаче патента на изобретение по заявке № 2016100632, приоритет изобретения 11.01.2016, авторы: Достовалов А.В., Бабин С.А., Вольф А.А., Парыгин А.В., Распопин К.С. Владельцы - ИАиЭ СО РАН и ООО «Фемтотех»
- Заявка на патент «Способ селекции поперечных мод многомодового волоконного лазера», № 2017112266/28, дата подачи: 10.04.2017. Авторы: Бабин С. А., Достовалов А. В., Вольф А. А., Злобина Е.А., Каблуков С.И., Владельцы - ИАиЭ СО РАН

#### *Коммерческие предложения:*

Договор на изготовление и поставку продукции, инвестиционный договор для организации производства ВБР.

#### *Ориентировочная стоимость:*

Стоимость промышленной установки: 30-50 млн. руб. в зависимости от комплектации.

Инновационный отдел ИАиЭ СО РАН

Тел. +7(383) 330-83-00; e-mail: [innovation@iae.nsk.su](mailto:innovation@iae.nsk.su)