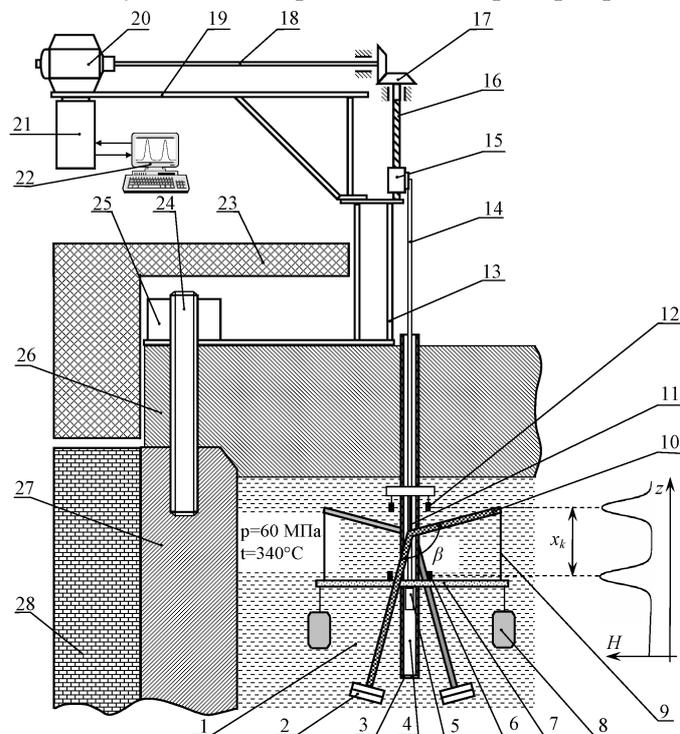


## ИЗМЕРЕНИЕ ПЕРЕМЕННОЙ МАССЫ ТВЕРДОГО ТЕЛА В НЕДОСТУПНОМ ОБЪЕМЕ

*С.Н. Абдрафиков, В.Л. Мурзин, К.В. Постаутов, О.К. Слива, П.А. Тараненко*

**Предложен способ определения переменной массы твердого тела в недоступном объеме. Изложен принцип работы измерительного комплекса и его составляющих. Приведены результаты экспериментального определения массы двух кристаллов кварца в процессе их выращивания в автоклаве.**

Проблема экспериментального определения переменной массы твердого тела в недоступном объеме вытекает из необходимости контроля и управления технологическим процессом выращивания искусственных кристаллов. Например, кристаллы кварца выращиваются в автоклаве при



**Рис. 1** Схема измерительного комплекса, установленного на автоклаве: 1 – герметичная полость автоклава; 2 – маятники; 3 – герметичный стакан; 4 – измерительная полость; 5 – датчик напряженности магнитного поля; 6 – подвижная система магнитов; 7 – траверса динамометра; 8 – кристалл-«свидетель»; 9, 10 – рычаг динамометра; 11 – гибкие элементы; 12 – неподвижная система магнитов; 13 – основание кронштейна; 14 – соединительная штанга; 15 – каретка с гайкой; 16 – винт; 17 – конический редуктор; 18 – вал; 19 – кронштейн; 20 – электродвигатель; 21 – электронный блок; 22 – кожух автоклава; 24 – шпилька; 25 – гайка; 26 – крышка автоклава; 27 – корпус автоклава; 28 – теплоизоляция

температуре порядка 340 °С и давлении 60 МПа. Автоклав представляет собой герметичный стальной сосуд со стенками толщиной около 250 мм, доступ в который в течение всего технологического цикла (80–300 суток) исключен, поэтому достаточно точное экспериментальное определение массы растущих кристаллов представляет собой нелегкую задачу. До настоящего времени и момент переключения режима работы автоклава с травления затравок на рост кристаллов, и регулирование скорости их роста, и момент остановки автоклава определяются расчетным путем, что не исключает ошибок в технологическом процессе и затрудняет его оптимизацию.

Схема измерительного комплекса, разработанного на кафедре «Прикладная механика, динамика и прочность машин» Южно-Уральского государственного университета совместно с заводом «Кристалл» (г. Южноуральск Челябинской обл.) [1], представлена на рис. 1.

Его основными частями являются:

1) рычажно-маятниковый динамометр 2, 7, 9, 10, 11, преобразующий изменение веса кристаллов-«свидетелей» 8 в вертикальное поступательное перемещение траверсы 7;

2) неподвижная система постоянных магнитов 12, жестко связанная с корпусом автоклава и образующая реперную точку, относительно которой определяется положение подвижной системы магнитов 6, жестко связанной с подвижной частью динамометра – траверсой 7;

ниях в ждущем режиме датчик находился в крайнем верхнем положении. В этом случае перед замером он подвергается предварительному намагничиванию, когда осуществляется его холостой ход. Эта мера позволила заметно уменьшить разброс показаний прибора (см. рис. 10, вторая половина технологического цикла).

Интересен последний этап цикла – участок *EFG* (см. рис. 10) – это конденсация раствора, когда после «всплывтия» динамометра произошло «увеличение» веса кристаллов на 596 грамм. Оно обусловлено исчезновением архимедовой силы, приложенной к системе, содержащей элементы различной плотности.

Отметим, что если процесс затопления динамометра, связанный с расширением раствора и его последующей гомогенизацией, продолжался в течение нескольких часов, то конденсация раствора произошла в течение не более 30 минут. В 14:50 16.01.2002 зафиксирована масса в 2693 грамма, а при замере в 15:20 уже 3274 грамма, то есть конденсация раствора завершилась. Обнаружить образование поверхностей раздела фаз и ее перемещение не удалось.

Усредненная скорость роста кристаллов (см. рис. 10, кривая 2) получена аппроксимацией результатов измерения полиномом четвертой степени и его последующим дифференцированием.

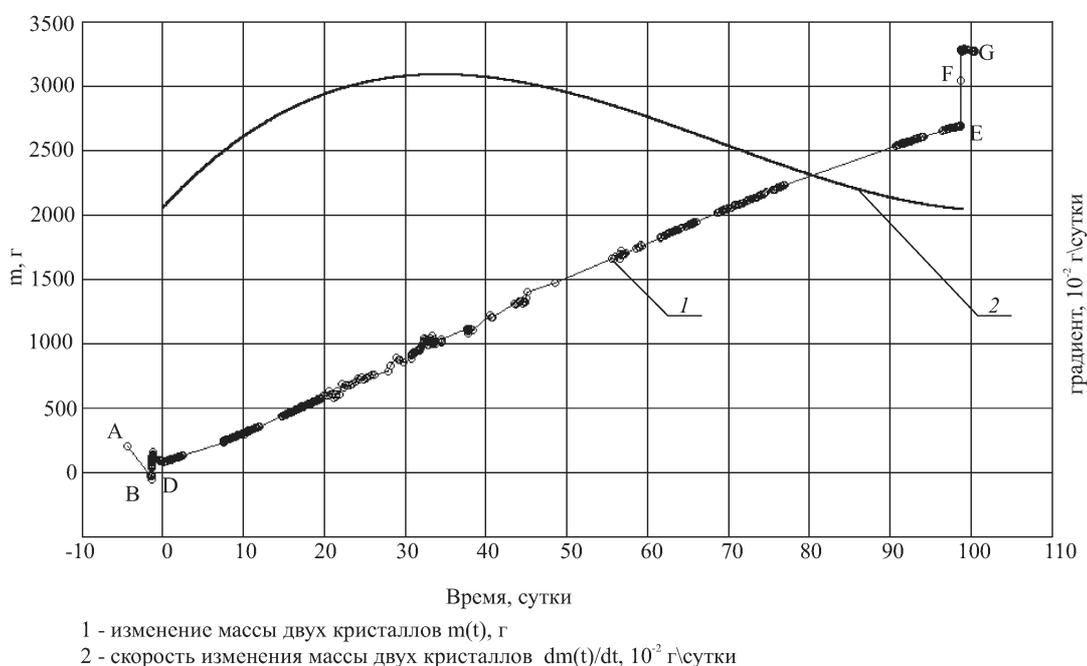


Рис. 10. Экспериментальная кривая изменения массы 2 кристаллов и усредненная скорость их роста

## Заключение

Разработаны и созданы элементы измерительной системы и методика математической обработки результатов измерения, обеспечивающие возможность определения находящейся в недоступном объеме переменной массы твердого тела в диапазоне 0–3 кг с погрешностью не более 5 грамм. Работоспособность измерительного комплекса доказана его испытанием в натуральных условиях.

## Литература

1. Свидетельство RU № 36141, G01G 7/00. Устройство для измерения переменной массы твердого тела в герметичном объеме.
2. Саркисян Л.А. Аналитические методы расчета стационарных магнитных полей. Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 288 с.

Поступила в редакцию 14 сентября 2004 г.