

Рисунок 2 - Схема процесса перекристаллизации лучом лазера.

Температура в процессе перекристаллизации должна быть порядка температуры плавления металлической плёнки. Создаётся расплавленная локальная зона и продвигается вдоль всей плёнки. Используют узкую зону, около 40 мкм, при движении её со скоростью лишь 3 мкм/с, при этом создают градиент температуры  $>190$  °С/мм. Зонную плавку применяют потому, что большинство примесей обладает хорошей растворимостью в жидкой фазе по сравнению с твёрдой. Поэтому примеси скапливаются в расплавленной зоне и перемещаются с ней к краю плёнки. Такой процесс позволяет получать плёнки отличного качества не прибегая к высокому вакууму, поскольку плёнка подвергается дальнейшей глубокой очистке. Этим и обусловлен выбор данной совокупности процессов.

#### Список использованных источников

1. Иевлев В.М., Трусов Л.И., Холлианский В.А. Структурные превращения в тонких пленках. – М.: Металлургия, 1988.
2. Гиваргизов Е.И. Искусственная эпитаксия - новое направление кристаллизации пленок в технологии микроэлектроники и вычислительной техники - М.: Наука, 1987.

УДК 533.661

## ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ДАТЧИКОВ ВСТРОЕННОГО КОНТРОЛЯ (ДВК) ПАРАМЕТРОВ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ (ДФ)

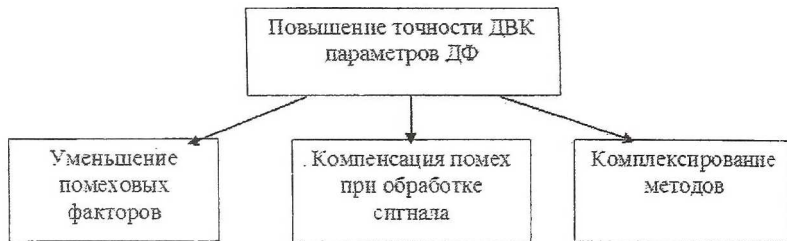
Кондоров Д.А., Логвинов Л.М.

В настоящее время актуален вопрос перехода к эксплуатации гидравлических систем оборудования по их фактическому состоянию, а также непрерывный контроль суперчистых жидкостей, что подразумевает использование датчиков встроенного контроля (ДВК). При этом всевозможные помеховые факторы в ДВК должны быть сведены к минимуму, поскольку при контроле чистых жидкостей любой помеховой импульс

может привести к искажению данных о классе чистоты жидкости. Это особенно важно при контроле сверхчистых жидкостей.

В статье рассмотрены вопросы повышения точности ДВК параметров ДФ за счёт (рисунок 1):

2. Уменьшения помеховых факторов, обусловленных конструкцией;
3. Компенсации с использованием адаптивной фильтрации выходного сигнала;
4. Комплексования методов.



**Рисунок 1 – Повышение точности датчиков встроенного контроля**

Снижение помеховых факторов путём оптимизации конструкции ДВК возможно по результатам:

5. натуральных испытаний;
6. математического моделирования – вычислительного эксперимента;
7. аналитического расчёта основных параметров ДВК.

Снижение помеховых факторов по результатам натуральных испытаний, безусловно, является одним из наиболее эффективных решений, но натурные испытания, как правило, требуют больших затрат в процессе их реализации и весьма сложны. Поэтому вычислительный эксперимент представляется более перспективным, поскольку затраты на его проведение, как правило, значительно меньше. При использовании пакетов CAD/CAM/CAE, позволяющих организовать сквозное проектирование устройств, постановка вычислительного эксперимента существенно упрощается, поскольку они позволяют существенно упростить процесс ввода информации об исследуемом ДВК. При этом, как правило, при виртуальном моделировании, приходится упрощать конструкцию ДВК. При постановке вычислительного эксперимента также необходимо учесть вклад каждого из элементов в общую картину процессов, протекающих в датчике. Естественно, при расчёте гидродинамических процессов в измерительном канале датчика, можно пренебречь геометрией внешних частей ДВК. В то же время, при расчёте деформаций узлов датчика, вызванных пульсацией давления, необходимо точно учесть все нюансы конструкции. Таким образом, при постановке вычислительного эксперимента приходится дополнительно упрощать модель ДВК, исходя из условий решаемой задачи.

мой задачи, что позволяет существенно ускорить процесс моделирования датчика и получить более полную картину явлений при наименьших затратах, но при этом существует вероятность возникновения погрешностей, обусловленных неточностью представления математической модели. /1/

Как следует из предварительного анализа, существует путь, позволяющий избежать как высоких затрат на натурные испытания ДВК, так и неточностей вычислительного эксперимента. Это проектирование ДВК с использованием предварительных теоретических наработок по оптимальной геометрии канала, в зависимости от параметров течения и других факторов, а также при оптимизации основных соотношений между конструктивными параметрами ДВК и характеристиками дисперсной фазы (ДФ) на основании результатов реальной эксплуатации устройства.

Рассмотрим несколько типовых задач, где вычислительный эксперимент имеет явные преимущества перед натурными испытаниями.

Математическое моделирование методом конечных элементов (МКЭ) позволяет получить представление о течении жидкости в каналах датчика, не прибегая к дорогостоящим натурным экспериментам. Используя МКЭ, можно найти поле скоростей жидкости и распределения давления в измерительном канале датчика. Уравнения гидродинамики, которые следует использовать для нахождения точного закона движения жидкости в ДВК, решения в классическом виде не имеют. Поэтому используется метод, позволяющий получить приближённое решение, которое в большинстве случаев достаточно, поскольку, изменяя начальные условия и граничные значения параметров в заданном диапазоне, можно получить совокупности интересующих нас распределений искомых физических величин в каналах ДВК.

МКЭ известен в математике давно, но широкое распространение он получил лишь в настоящее время в связи с развитием вычислительной техники. В частности, пакет ANSYS реализует МКЭ средствами алгоритмического языка Fortran, используя при работе интерактивный графический интерфейс пользователя, что позволяет решать достаточно сложные задачи. Пример модели канала ДВК в пакете ANSYS приведён на рис. 2.

Для получения требуемой формы и размеров канала его приходится изготавливать составным, из нескольких разнородных материалов, что предопределяет наличие таких помеховых факторов, как неоднородность коэффициента смачивания стенок канала, непостоянство площади сечения канала и наличие участков с замедленным и обратным течением жидкости.

Неравномерности течения жидкости обуславливаются неидеальностью стенок канала ДВК, а также термодинамическими процессами в среде и «обратной связью» – реакцией жидкости на изменение гидродинамических свойств системы в целом (особенно это важно в сложных гидрав-



лических системах). Под неидеальностью стенок канала ДВК подразумевается, что стенки канала выполнены из нескольких видов материалов, каждый из которых взаимодействует с жидкостью по-своему, поскольку обладает собственным коэффициентом смачивания. Кроме этого, в местах стыковки секций имеются неровности: углубления от фасок, и возможные смещения фрагментов канала. Если материалы для изготовления стенок канала будут подобраны таким образом, что их коэффициенты смачивания рабочей жидкостью будут примерно одинаковы, то наличие неровностей в местах стыка составных частей становится основным помеховым фактором. Поэтому вопрос о влиянии качества выполнения стыков измерительного канала становится одним из важнейших.

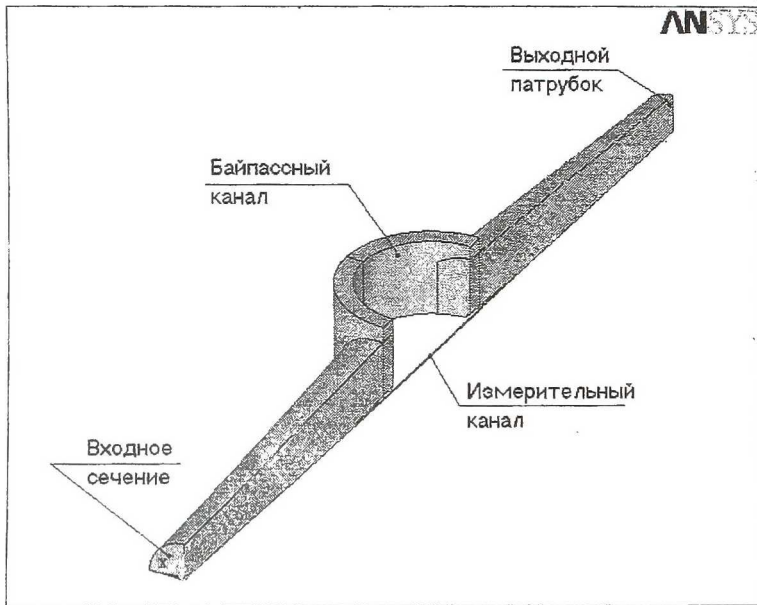


Рисунок 2. – Модель  $\frac{1}{4}$  канала ДВК в пакете ANSYS

Для решения поставленной задачи использовалось компьютерное моделирование стыка измерительного канала ДВК в пакете ANSYS. /4./ Была создана трёхмерная модель «стыковочной области» ДВК, показанная на рисунке 3 и представляющая собой совокупность цилиндров (модель трубки) и усечённых конусов (модель фаски). Анализировалось влияние смещения этих секций на характер течения в канале для их различных взаимных положений (стык со смещением и без смещения секций). Были получены картины распределения полей скоростей и давления для разных смещений секций, которые приведены на рисунке 4.

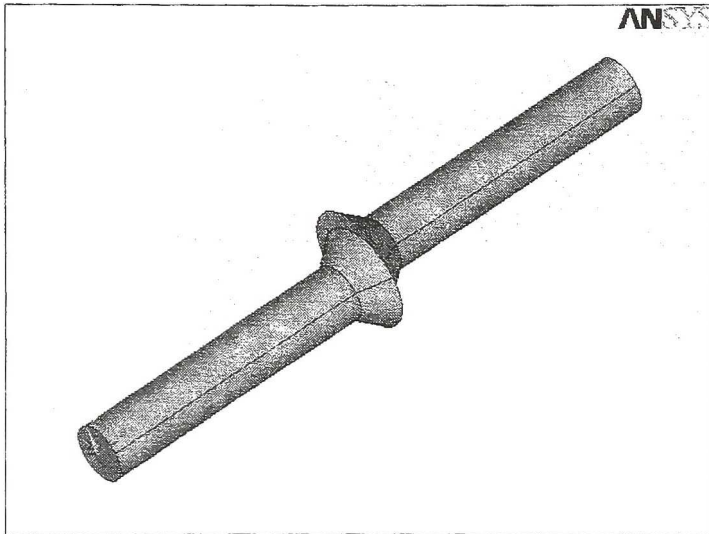


Рисунок 3 – Модель стыка в пакете ANSYS

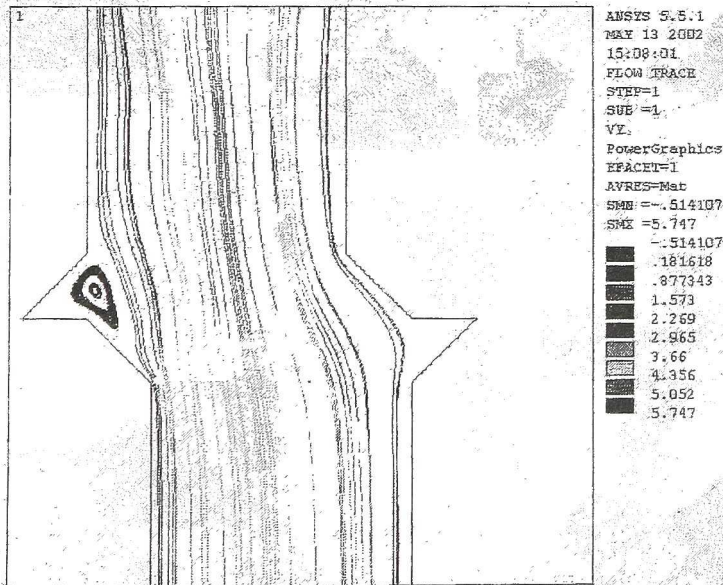


Рисунок 4. – Распределение скорости в месте смещённого стыка

Как следует из рисунка 5, влияние несоосности измерительного канала сводится лишь к незначительному искажению линий течения, появлению участка с обратным течением в области фаски слева (по направлению смещения второй секции) и участка ускоренного течения в центре канала

сразу после стыка. Причём влияние смещённого стыка пренебрежимо мало уже на расстоянии порядка  $1 \dots 1,5$  внутренних диаметров измерительного канала от стыка (в обе стороны). Таким образом, следует отметить, что составляющая технологической погрешности изготовления ДВК, вносимая смещением узлов стыка измерительного канала мала, и в упрощённой расчётной модели её можно не учитывать, при условии, что на практике смещение не превышает  $15 \dots 20\%$ . В то же время, полностью пренебрегать влиянием смещения с перекрытием порядка  $30\%$  площади узла стыка нельзя, поскольку неоднородность течения может существенно повлиять на результаты контроля параметров дисперсной фазы.

Так, при смещении порядка  $50\%$  ( $0,5$  мм) в месте стыка наблюдается достаточно обширная зона разгона жидкости. Кроме того, наблюдается область обратным течением в зоне гидродинамической тени непосредственно за местом стыка. Всё это может служить причиной возникновения оптических неоднородностей в измерительном объёме ДВК и приводить к появлению ложных сигналов на выходе датчика, обусловленных этими неоднородностями. Также следует отметить искажение профиля скорости в канале ДВК и появление характерного провала в центре, что свидетельствует о турбулизации течения.

Следовательно, при изготовлении измерительного канала ДВК следует контролировать смещение составных частей датчика и не допускать их сдвига более чем на  $15\%$  относительно диаметра канала.

Рассмотренные задачи показывают, что по результатам вычислительного эксперимента можно выработать как рекомендации по оптимизации отдельных узлов ДВК, так и полный набор зависимостей параметров течения от геометрии канала. Анализируя их, можно выбрать оптимальные параметры измерительного канала ДВК, исходя из заданных условий эксплуатации датчика (давление в гидросистеме, расход и пр.)

На работе системы также сказываются помехи, не связанные напрямую с гидродинамическими процессами в канале. Это помехи, связанные с деформациями узлов измерительного канала датчика под воздействием пульсаций давления жидкости в канале. Они имеют жёсткую связь с изменениями конструктивных параметров, которые могут быть обусловлено любыми механическими воздействиями.

Для исключения влияния подобных помех наиболее удобным представляется метод цифровой адаптивной фильтрации сигнала на выходе ДВК. Структурная схема такого фильтра показана на рисунке 6.

Сигнал с датчика с помощью АЦП преобразуется в цифровую форму и поступает в сигнальный процессор, где реализуется алгоритм цифровой адаптивной фильтрации. /5./ Туда же поступает сигнал с дополнительного датчика, отслеживающего вибрации стенок ДВК. После соответствующей обработки он используется для нахождения коэффициентов адаптивного цифрового фильтра (АЦФ) и закона изменения их величин.



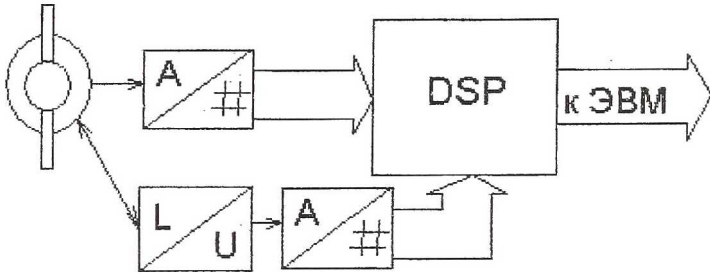


Рисунок 5. – Пример реализации ДВК с адаптивным фильтром

В принципе, возможна реализация адаптивной фильтрации сигнала в ЭВМ. При этом необходимо вводить как сам сигнал, так и информацию о помехе. Можно использовать только один канал АЦП. При этом только придётся коммутировать источник сигнала – выход ДВК или датчика вибрации. Частоту выборок при этом придётся увеличить в 2 раза и ввести дополнительную синхронизацию. Это особенно выгодно при массовом производстве. В этом случае доработки аппаратной части будут минимальны (появится только датчик вибрации и коммутатор) и основные изменения коснутся лишь программы обработки результатов. Но требования к АЦП возрастут и при контроле сверхчистых жидкостей возможны случаи, когда выгоднее использовать два отдельных АЦП для каналов сигнала и помехи. В случае, когда требуются повышенные характеристики ДВК, становится целесообразным использование внешнего сигнального процессора, поскольку объём информации существенно возрастёт.

Таким образом, предложены пути повышения точности ДВК параметров ДФ: проектирование измерительного канала ДВК, опираясь на результаты вычислительного эксперимента и внедрение адаптивной фильтрации. Наиболее перспективным случаем является комплексирование рассмотренных методов повышения чувствительности ДВК параметров ДФ.

#### Список использованных источников

1. Кондоров Д.А., Логвинов Л.М. Моделирование датчика встроенного контроля в пакете ANSYS. Тезисы докладов электронной конференции по подпрограмме «Топливо и энергетика» – М. МЭИ. 2002
2. Милн-Томсон Л.М. Теоретическая гидромеханика. – М. Мир, 1964, 656с., ил.
3. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М.: Наука 1969 г., 744 с.
4. Theory of ANSYS Manual reference. ANSYS Inc. 1996.
5. Гольденберг В.В., Матюшкин А.В., Поляк И.В. Цифровая обработка сигналов. М.: ВШ, 1988