

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им. Г.И. Будкера СО РАН

Н.А. Винокуров, Б.А. Гудков, В.Р. Козак,
В.В. Кубарев А.Н. Матвеевко, С.В. Мигинский,
А.Д. Орешков, П.А. Селиванов, С.С. Середняков,
С.В. Тарарышкин

МОЩНЫЙ ЛАЗЕР
НА СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ
ДЛЯ СИБИРСКОГО ЦЕНТРА
ФОТОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ.
СИСТЕМА ТЕМПЕРАТУРНОГО КОНТРОЛЯ

ИЯФ-2003-77

НОВОСИБИРСК
2003

**Мощный лазер на свободных электронах для
Сибирского Центра Фотохимических Исследований.
Система температурного контроля**

*Н.А. Винокуров, Б.А. Гудков, В.Р. Козак, В.В. Кубарев,
А.Н. Матвеевко, С.В. Мигинский, А.Д. Орешков, П.А. Селиванов,
С.С. Середняков, С.В. Тарарышкин*

Аннотация

Создание промышленных установок высокой мощности требует разработки систем контроля и защиты. Одна из таких систем – система контроля температуры, разработанная и используемая в ИЯФ СОРАН на ускорителе-рекуператоре лазера на свободных электронах субмиллиметрового диапазона Сибирского Центра Фотохимических исследований, является предметом данной статьи. Особенности системы являются удаленность рабочего места оператора, большое количество термодатчиков, модульное построение системы, позволяющее легко наращивать количество датчиков, высокий уровень радиации в местах расположения датчиков, интеграция системы термоконтроля с другими системами защиты ускорителя.

**Free electron laser for the Siberian Center for Photochemical Research.
Temperature control system**

*B.A. Gudkov, V.R. Kozak, V.V. Kubarev, A.N. Matveenko,
S.V. Miginsky, A.D. Oreshkov, P.A. Selivanov, S.S. Serednyakov,
S.V. Tararyshkin, N.A. Vinokurov*

Abstract

High power facilities require special control systems to protect equipment from operation in emergency conditions. We describe a temperature control system of accelerator-recirculator of far infrared free electron laser for Siberian Center for Photochemical Research. The main features of the system are remote operator place, large sensor number, modular system architecture to simplify the system growth, high radiation level, and system integration to other accelerator control systems.

1. Ускоритель-рекуператор ЛСЭ субмиллиметрового диапазона

В настоящее время в Сибирском Центре Фотохимических исследований строится мощный лазер на свободных электронах инфракрасного диапазона [1]. Источником электронного пучка для лазера является четырехдорожечный ускоритель-рекуператор на энергию 50 МэВ. Параметры работающей в настоящее время первой очереди ускорителя-рекуператора с одним оборотом пучка перечислены ниже.

Энергия электронов из пушки	300 кэВ
Энергия инжекции в основной канал	до 2 МэВ
Максимальная энергия электронов	14 МэВ
Максимальная частота следования импульсов	22.5 МГц
Максимальный средний ток	50 мА
Пиковый ток	до 20 А
Длительность импульса	50 – 100 пс

Основные параметры лазерного излучения первой очереди ЛСЭ:

Длина волны	100 – 200 мкм
Пиковая мощность	0.1 – 1 МВт
Средняя мощность	0.1 – 1 кВт

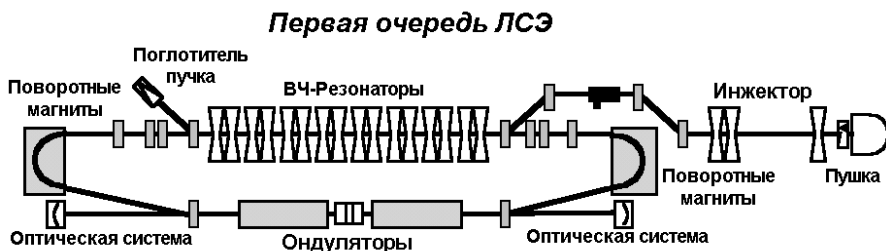


Рис. 1. Первая очередь лазера на свободных электронах инфракрасного диапазона.

2. Требования к системе температурного контроля

Высокая средняя мощность предъявляет особые требования к используемым на установке системам автоматизации, контроля и защиты. Управление магнитной системой и диагностика положения пучка описаны в [2-4]. Эта статья посвящена системе температурного контроля ЛСЭ.

Максимальная средняя мощность в пучке ускорителя ЛСЭ достигает 700 кВт. Часть тока пучка теряется на стенках вакуумной камеры, что приводит к разогреву труб и вакуумных уплотнений и является потенциально опасным для вакуумной системы ускорителя. Лазерное излучение субмиллиметрового диапазона поглощается в окнах вывода оптического излучения, что также потенциально опасно для вакуумной системы. Существующие на установке системы защиты (датчики среднего тока, вакуумметры) позволяют автоматически выключать установку при неполадках, приводящих к большим потерям пучка, но являются нечувствительными к малым нелокальным потерям. Для измерения таких потерь было необходимо разработать систему измерения температуры. Кроме того, такая система позволяет контролировать возможный нагрев силовых кабелей питания поворотных магнитов и ондуляторов, разогрев стенок и окон вывода излучения из оптического резонатора лазера, температуру воды в контуре охлаждения и др.

Необходимая точность измерения абсолютного значения температуры – несколько градусов. Относительные измерения необходимо проводить с возможно большей точностью для вычисления изменения температуры на каждом датчике. Как будет показано в разделе 4, это позволяет существенно улучшить временное разрешение системы.

Полная длина канала ускорителя составляет около 40 м. При этом необходимое количество термодатчиков – не менее 100 шт.

При выборе температурных датчиков учтен высокий уровень радиации в зале ускорителя (превышающий 100 рентген/час).

3. Оценки времени и максимальной температуры нагрева

Уравнение теплопроводности с учетом внешних источников имеет вид

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{K}{C\rho} \Delta T + \frac{Q}{C\rho},$$

где C – теплоемкость, ρ – плотность, K – коэффициент теплопроводности материала, Q – удельная мощность внешних источников тепла, $\Delta T = \text{div}(\text{grad}T)$. Это параболическое уравнение в частных производных нужно решать с начальным условием $T|_{t=0} = T_0(\vec{r})$ и граничными условиями: на функцию $T(t)|_{sp} = T_0(t)$ – при заданной температуре на границе, на

производную $K \frac{\partial T}{\partial \vec{n}} \Big|_{zp} = q_0(t)$ – при заданном потоке тепла на границе, или

на их комбинацию. Так, при учете конвективного и лучистого теплообмена с окружающей средой заданной температуры $T_{o.c.}$, граничное условие имеет вид

$$\frac{\partial T}{\partial \vec{n}} \Big|_{zp} = \frac{\alpha}{K} (T \Big|_{zp} - T_{o.c.}) + \frac{\sigma (T^4 \Big|_{zp} - T_{o.c.}^4)}{K}.$$

Здесь α – коэффициент теплообмена, q – плотность потока энергии на границе тела, \vec{n} – вектор нормали к поверхности тела, σ – постоянная Больцмана.

В таблице 1 приведены характерные значения констант для некоторых веществ.

Таблица 1

Материал	K , Дж/с·см·°С	C , Дж/г·°С	ρ , г/см ³	α , Дж/с·см ² ·°С
Сталь	0.1 – 0.5	0.4 – 0.5	7.5 – 8.0	0.002 – 0.02
Медь	4.0	0.4	8.9	
Алюминий	2.1	0.9	2.7	
Титан	0.15	0.5	4.5	

3.1. Время прогрева

Время прогрева трубы вакуумной камеры длиной l можно оценить из уравнения теплопроводности как

$$\Delta t = \frac{\delta T}{\Delta T} \cdot \frac{l^2 C \rho}{K}.$$

Здесь δT – минимальное измеряемое изменение температуры, ΔT – разность температур на концах трубы, C – теплоемкость, ρ – плотность, K – коэффициент теплопроводности материала. Для стали, длины трубы 10 см и $\delta T / \Delta T = 0.1$ получим $t \sim 1$ минуты. Для обеспечения большего быстродействия системы термоконтроля потребуется более частое расположение датчиков или повышение точности измерения температуры, что является технически сложно осуществимым.

3.2. Быстрый нагрев электронным пучком

При быстром локальном нагреве вакуумной камеры, когда можно пренебречь теплопроводностью, температура линейно растет со временем, а для нагрева 1 см³ стали на 1 градус требуется около 3 Дж.

$$\Delta T = \frac{\Delta E}{C_p V}.$$

Здесь ΔE – выделившаяся энергия, V – объем. Таким образом даже кратковременный (1 секунда) выброс пучка на стенку в режиме работы с минимальным током (20 мкА) может привести к нагреву на десятки градусов. Однако, такие быстрые изменения температуры сложно отследить (потребуется слишком частое расположение датчиков, как указано выше). Отсюда, однако, можно получить оценку для времени отключения пушки ускорителя системой контроля и защиты по полному току в ускорителе.

$$\Delta t \approx \frac{C_p V \Delta T}{P}.$$

Так, если максимальный ток пучка 50 мА теряется на стенке вакуумной камеры с площадью пятна 0.1 см^2 , то температура в этом месте камеры вырастет до $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ за время, порядка 1 мсек. (Для оценки взято, что вся энергия пучка теряется в толще стали 1 см, в реальности в большинстве мест выпадения пучок падает на стенку под малым углом, когда коэффициент отражения электронов близок к единице, и энергия выделяется, соответственно, на большей площади [7, стр.956]). Таким образом, для защиты от аварийных ситуаций, при которых вся мощность пучка выделяется в небольшом объеме вакуумной камеры, время срабатывания системы защиты должно быть меньше 1 мсек [4].

3.3. Установившаяся температура

Максимальная установившаяся температура вакуумной камеры в местах, где нет принудительного охлаждения водой или воздухом, для небольшой выделяющейся мощности определяется коэффициентом теплообмена $\alpha = 0.002 \div 0.02 \text{ Вт/см}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

$$P = \alpha \cdot S \cdot \Delta T.$$

Здесь S – площадь поверхности, ΔT – разность температур воздуха и поверхности. Коэффициент α меняется в зависимости от формы и размеров тела [5]

$$\alpha = Nu \cdot \frac{\lambda}{h},$$

где Nu – критерий Нуссельта, λ – теплопроводность воздуха, h – вертикальный размер тела.

Коэффициент лучистого теплообмена для небольших температур ($T - T_0 \ll T_0$) не зависит от температуры и равен $\alpha_{\text{луч}} = 0.0006 \text{ Вт/см}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. При больших температурах он растет как σT^4 и сравнивается с коэффициентом конвективного теплообмена с воздухом при $T \sim 100^\circ\text{C}$.

Если рассматривать тонкую пластину с точечным источником нагрева, охлаждаемую воздухом с одной стороны, то для стационарного распределения температуры в пластине получим уравнение

$$\Delta T = \frac{\alpha}{Kd} T.$$

Здесь $\Delta T = \text{div}(\text{grad } T)$, d – толщина пластины, K и α определены выше. Для оценки характерного размера прогреваемой поверхности $(T - T_0 \sim (T_{\max} - T_0)/2)$ получим

$$R \approx \sqrt{\frac{Kd}{\alpha}},$$

что для стальной трубы с толщиной стенки 3 мм составляет несколько сантиметров. Для характерной температуры получим оценку

$$T - T_0 \approx \frac{P}{\pi \cdot K \cdot d},$$

что для той же трубы и выделяющейся мощности 10 Вт даёт около 30°C.

3.4. Нагрев датчиков переходного излучения

Оценим температуру, до которой нагреваются датчики переходного излучения в канале ускорителя. Имеется два типа датчиков: медные с охлаждением водой (толщина меди около 5 мм) и фольговые с толщиной титановой фольги 50 мкм.

Для первого типа датчиков максимальную температуру поверхности датчика можно оценить из стационарного уравнения теплопроводности, считая, что температура меди в месте охлаждения водой практически равна температуре воды. Рассмотрим геометрию с малым источником нагрева r_0 и теплосъёмом с поверхности полусферы. Тогда максимальную температуру поверхности в месте нагрева пучком получим из

$$T - T_0 \approx \frac{P}{2\pi K r_0},$$

где P – мощность в пучке, r_0 – радиус пучка. Пучок с радиусом 1 мм разогреет поверхность датчика до 1000 °С (температура плавления меди) при мощности $P = 2.5$ кВт. Т.е. при энергии пучка $E = 300$ кэВ средний ток не должен быть больше $I_{\max} = 8$ мА, при $E = 2$ МэВ $I_{\max} = 1$ мА, при $E = 14$ МэВ $I_{\max} = 150$ мкА (на самом деле для энергии электронов 14 МэВ модель с точечным нагревом даёт заниженное значение максимального тока, т.к. глубина проникновения электронов в медь становится около 1 см, что сравнимо с толщиной стенки датчика).

В фольговых датчиках потери энергии пучка меньше, но и условия отвода тепла жестче. Для температуры датчика из уравнения теплопроводности при отсутствии теплоотвода излучением получим

$$T(r) - T_0 = -\frac{I}{2\pi K e} \ln\left(\frac{r}{r_0}\right) \frac{dE}{dz},$$

где I – ток пучка, e – заряд электрона, $dE/dz \approx 2.5 \cdot 10^6 \cdot \rho$ ($\text{г}/\text{см}^3$) МэВ/см – ионизационные потери энергии.

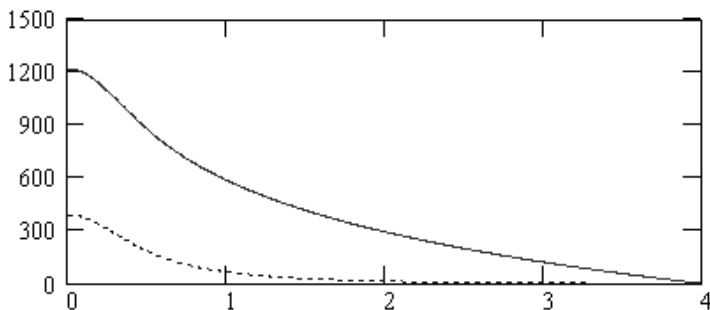


Рис. 2: Распределение температуры по радиусу титановой фольги, через которую проходит пучок электронов с током 25 мкА. Верхняя кривая – без учета потерь на излучение, нижняя – с учетом излучения. По оси x отложено расстояние до оси симметрии в см, по оси y – температура в $^{\circ}\text{C}$.

При нагреве датчика до температуры более 100°C существенную роль начинает играть отвод энергии излучением. На рисунке 2 приведены результаты расчетов температуры фольги без учета излучения (верхняя кривая) и с учетом излучения (нижняя кривая). Пучок предполагался круглым с размером 3 мм (σ) с гауссовским распределением интенсивности по радиусу, поглощенная в фольге мощность – 2 Вт (что при титановой фольге толщиной 50 мкм соответствует току пучка 25 мкА), по оси x отложено расстояние до оси симметрии в см, по оси y – температура в $^{\circ}\text{C}$. Как видно из графика, в месте прохождения пучка $T - T_0 \sim 400^{\circ}\text{C}$.

3.5. Термоконтроль оптических окон

Оптические окна ЛСЭ (юстировочные и выходные) являются наиболее уязвимыми со стороны лазерного излучения элементами конструкции. Неоднородный по сечению нагрев окон приводит к возникновению напряжений, которые могут приводить к разрушению окна. Опасный перепад температуры по радиусу окна можно оценить по формуле:

$$\Delta T = \frac{\sigma_T}{E\alpha},$$

где σ_T – разрушающее напряжение, E – модуль упругости Юнга, α – коэффициент теплового расширения.

Вышеописанный эффект ограничивает максимально возможную падающую на окно мощность для гауссова пучка с характерным диаметром по интенсивности равным диаметру окна величиной

$$P_{\max} = \frac{4\pi K \sigma_T}{\beta \alpha E N},$$

где K – коэффициент теплопроводности, β – коэффициент поглощения [см^{-1}], N – коэффициент запаса (4÷5). Эта формула справедлива для окна с малым поглощением излучения (выходного окна). В оптическом резонаторе также имеются юстировочные и смотровые окна, которые поглощают близко к 100% лазерного излучения. Для них

$$P_{\max} = \frac{4\pi d K \sigma_T}{\alpha E N},$$

где d – толщина окна.

Как легко видеть, показателем “качества” окна по отношению к термораскалыванию является величина $\frac{K \sigma_T}{\beta \alpha E}$. Наиболее стойкими к термораскалыванию являются алмаз и кварцевое стекло.

В ЛСЭ ЦФХИ юстировочные окна будут изготовлены из радиационно-стойкого кварцевого стекла марки КУ и иметь специальное отражающее металлическое напыление. Выходное окно будет изготовлено из синтетического алмаза. Максимальная допустимая мощность, падающая на алмазное окно – не менее 10 кВт. Для сравнения, окно из кристаллического кварца выдерживает не более 20 Вт.

4. Термодатчики

В качестве датчика температуры использована обмотка миниатюрного реле РЭС49, т.е. медный термометр сопротивления. Такой датчик, имея относительно высокое собственное сопротивление, обеспечивает высокий коэффициент преобразования и допускает длинные соединительные трассы с достаточно большим числом соединений, каждое из которых в принципе имеет термоЭДС. Кроме того, он имеет относительно высокую радиационную стойкость, что при выборе датчика для данной системы явилось решающим фактором. Некоторые характеристики различных датчиков приведены в таблице 3.

При номинальном сопротивлении датчика $R_s=800$ Ом, температурном коэффициенте $0.43\%/K$ и токе 1mA термометр имеет коэффициент около $3.3\text{mV}/K$. В реальной схеме, где ток датчика задается не генератором тока, а резистором $R_c=16$ кОм от источника напряжения 16.8V , коэффициент будет несколько меньше, а именно

$$\frac{Rc}{Rc + Rs} 3.3 \frac{mV}{K} = 3.15 \frac{mV}{K}.$$

Передаточную функцию датчика можно описать формулой:

$$H(p) = \frac{H(0)}{(1 + pT_1)(1 + pT_2)}, \quad (1)$$

где $H(0) = 3.15 \text{mV/K}$, $T_1 = 13\text{s}$, $T_2 = 2\text{s}$.

Таблица 3. Характеристики температурных датчиков.

Датчик	Коэффициент преобразования	Идентичность характеристик	Тепловая постоянная времени	Радиационная стойкость (сравнительно)
Полупроводниковый (р-п переход диода или транзистора)	Около 2mV/K	~ ±10K ±3K после разбраковки	Около 10 сек для транзистора КТ904	Средняя
Полупроводниковый с усилителем (и интерфейсом)	Чаще всего 10mV/K	1-3K	60 сек (в воздухе)	Низкая
Термопара	~40 – 0 мV/K			Высокая
Платиновый термометр сопротивления	Около +0.39%/K или 0.3 mV/K при R=100 Ohm			Высокая
Медный термометр сопротивления (обмотка реле РЭС-49)	Около +0.42%/K или +3mV/K при R=800 Ohm, I=1mA	ΔR/R=20%	Около 15 сек с медным теплоотводом, припаянным к корпусу	Высокая

Насколько такое приближение удачно, видно на рис. 3. Сверху показана осциллограмма (датчик, имевший температуру около 22 градусов, был прижат к горячей металлической поверхности), а снизу – результат моделирования в соответствии с (1). T_1 и T_2 соответствуют постоянным времени теплообменника датчика и, собственно, датчика.

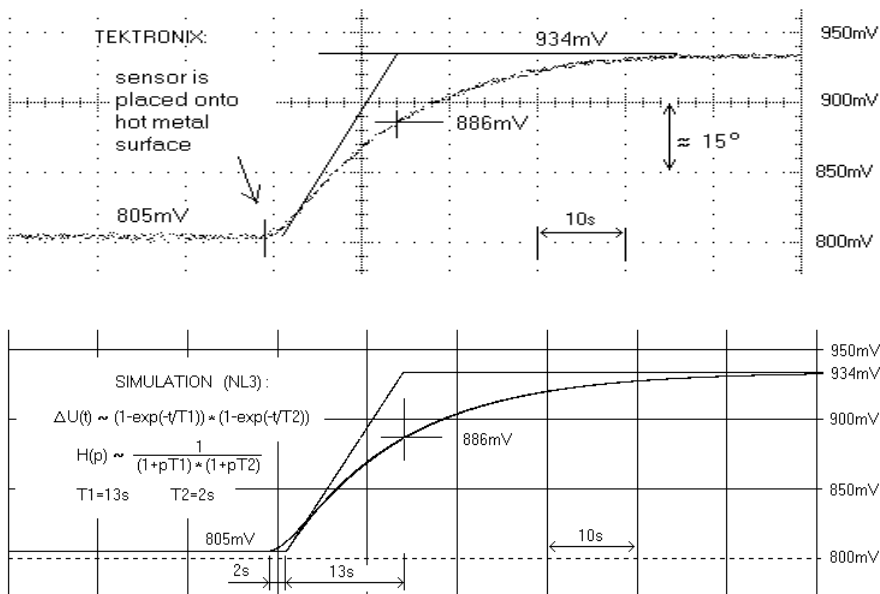


Рис. 3. Нагрев датчика после приведения в контакт с горячей поверхностью. Сверху – осциллограмма напряжения на датчике, снизу – результат моделирования в соответствии с (1).

Если умножить $H(p)$ из (1) на $(1+pT_3)$, причем взять $T_3 \geq T_1$, то можно значительно выиграть в быстродействии. Иллюстрацией служат рис. 4 и 5, где приведены результаты моделирования нагрева коллиматора соответственно для симметричного и несимметричного по азимуту выделения тепла. Для этого достаточно на программном уровне вычислить

$$T_{calc} = T_s + 18 \frac{dT_s}{dt}, \quad (2)$$

где T_s – температура датчика. Для точной компенсации коэффициент при производной должен быть равен 13, однако, как видно из рисунков, некоторая излишняя компенсация полезна, поскольку постоянная времени может меняться от датчика к датчику. Показаны варианты для датчика с постоянной времени 13, 18 и 26 секунд и вычисленной реальной температурой согласно (2).

Реальная камера содержит около 20 коллиматоров, которые, принимая на себя основную нагрузку, обеспечивают, во-первых, пассивную защиту камеры, а, во-вторых, позволяют обойтись разумным количеством датчиков температуры, поскольку датчики установлены на всех коллиматорах и тем самым совмещены с наиболее вероятными областями нагрева. Часть датчи-

ков установлена непосредственно на камеру в местах, где вероятность потерь предположительно высока.

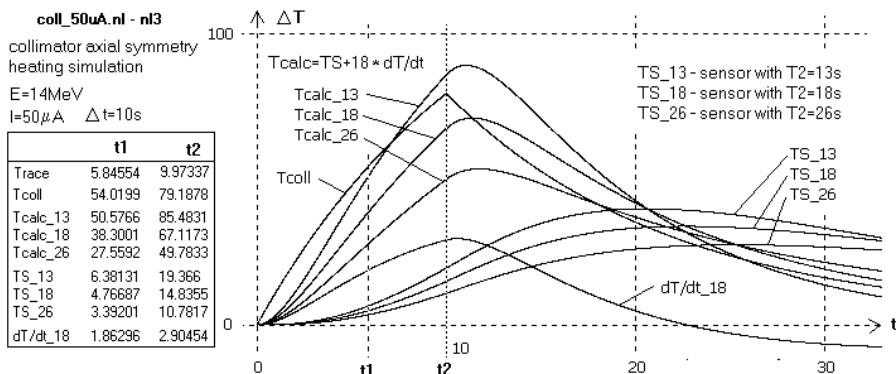


Рис. 4. Результаты моделирования осесимметричного нагрева коллиматора. Показаны: Tcoll – температура коллиматора, TS – температуры датчиков с постоянными времени 13, 18, и 26 секунд, Tcalc – температура, посчитанная в соответствии с (2).

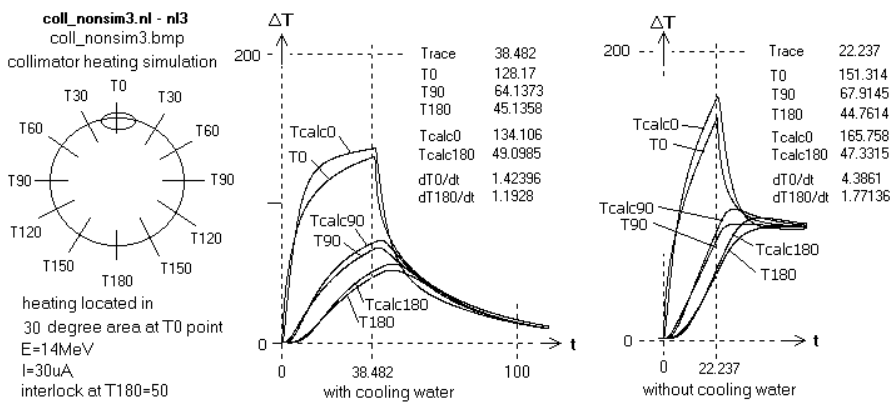


Рис. 5. Результаты моделирования несимметричного нагрева коллиматора. Показаны зависимости от времени температуры коллиматора и измеренной температуры, пересчитанной в соответствии с (2) в 3 точках по азимуту с водяным охлаждением и без охлаждения.

Блок-схема системы и схема одного канала показаны на рис.6. Система интегрирована на программном уровне, а на аппаратном имеет модульную структуру, позволяющую легко наращивать ее объем. Каждый модуль вклю-

чает в себя до 40 датчиков, промежуточные клеммники, коммутационную панель и 40-канальный АЦП. В настоящее время, при наличии одной обратной дорожки с вигглером, число модулей равно 4. Короткие соединения датчиков с промежуточными клеммниками выполнены витой парой и далее – кабелем КММ-2.

Вход каждого канала защищен предохранителями и стабилитроном, выход снабжен фильтром с постоянной времени 200ms.

Близкий к 1mA ток задается через R1 R2 R3 от источника опорного напряжения 16.8 В. Ток регулируется плавно изменением R2 и скачком путем установки в позицию R3 либо резистора, либо переключки. Характеристики всех каналов могут быть сделаны идентичными при выполнении условия:

$$\frac{R_{sens}}{R1 + R2 + R3} = Const$$

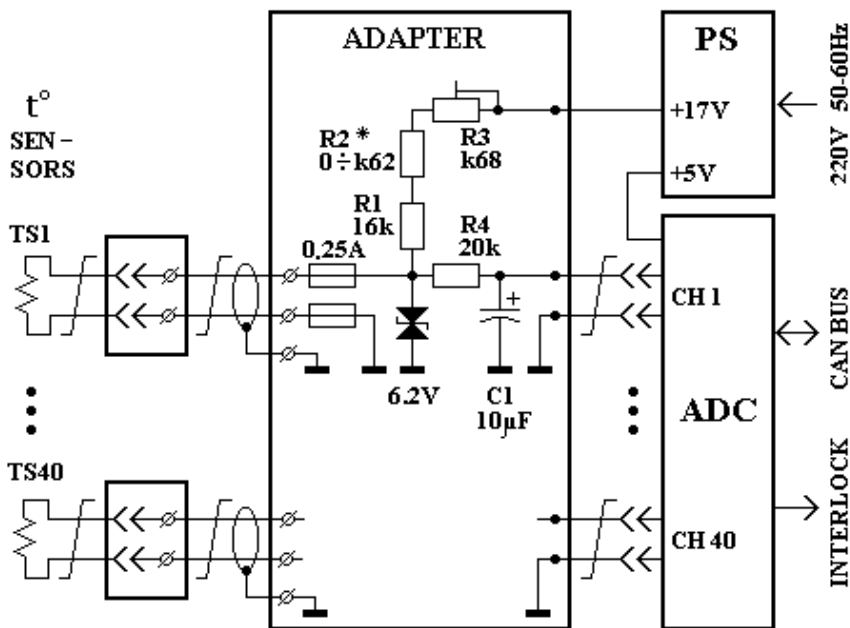


Рис. 6. Блоксхема системы и схема одного канала.

Фотография монтажной платы на 40 датчиков показана на рис. 7.

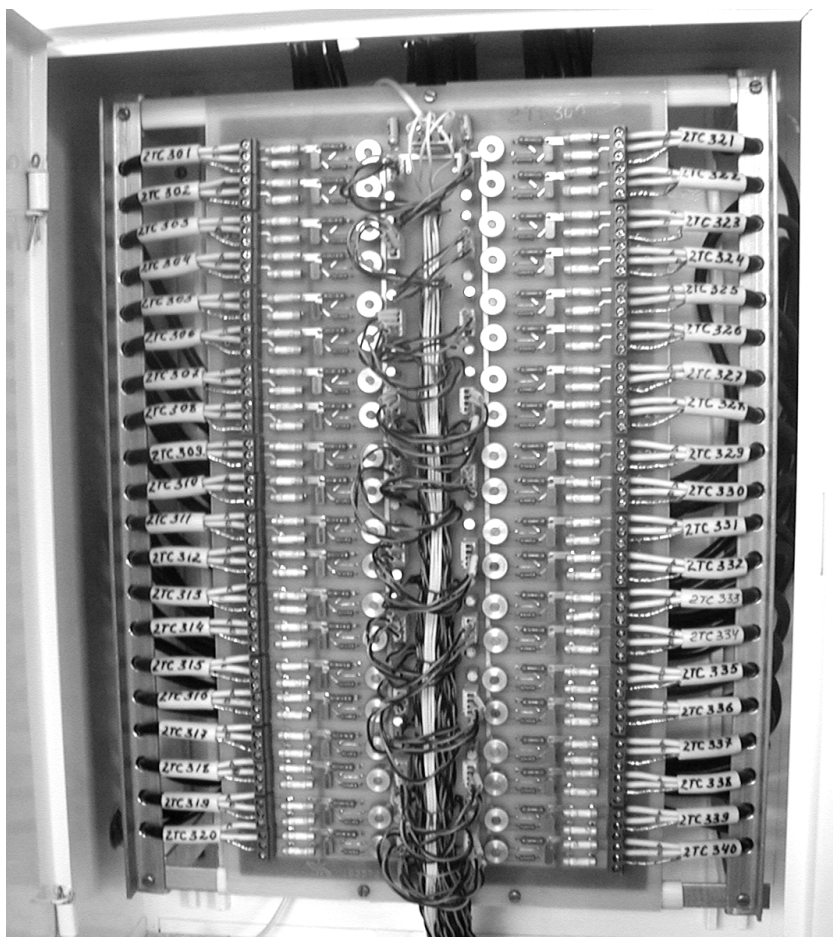


Рис. 7. Монтажная плата на 40 датчиков.

5. Требования к управляющей аппаратуре

До недавнего времени стандартным аппаратным интерфейсом между управляющей аппаратурой и компьютером в ИЯФ-е был КАМАК. Этот стандарт имеет ряд недостатков: Во-первых, использование промежуточного конструктива (КАМАК) приводит к возникновению большого количества сигнальных трасс и дополнительных разъемных соединений, что в свою очередь понижает надежность системы и вынуждает периодически бороться с помехами в сигнальных трактах. Во-вторых чтение и запись информации в КАМАК-блоки требует выполнения дополнительных операций с регистрами

контроллера крейта. В среднем требуется не менее 6 операций ввода-вывода на передачу одного слова.

С появлением множества других стандартов на управляющую аппаратуру появилась возможность выбора систем, отличных от КАМАК. Одной из таких систем является CANbus.

Сравнительный анализ возможных конфигураций систем управления (на основе КАМАК модулей и на основе CANbus устройств) показал значительный набор преимуществ схемы на основе CANbus устройств, что однозначно обусловило выбор разработчиков системы. Прежде всего это отсутствие крейтов для измерительной аппаратуры, отсутствие дополнительных соединений между измерительной аппаратурой и аналоговой частью измерительной системы, минимальные программные затраты на прием и посылку сообщений от программы к управляющим устройствам, удобство в использовании.

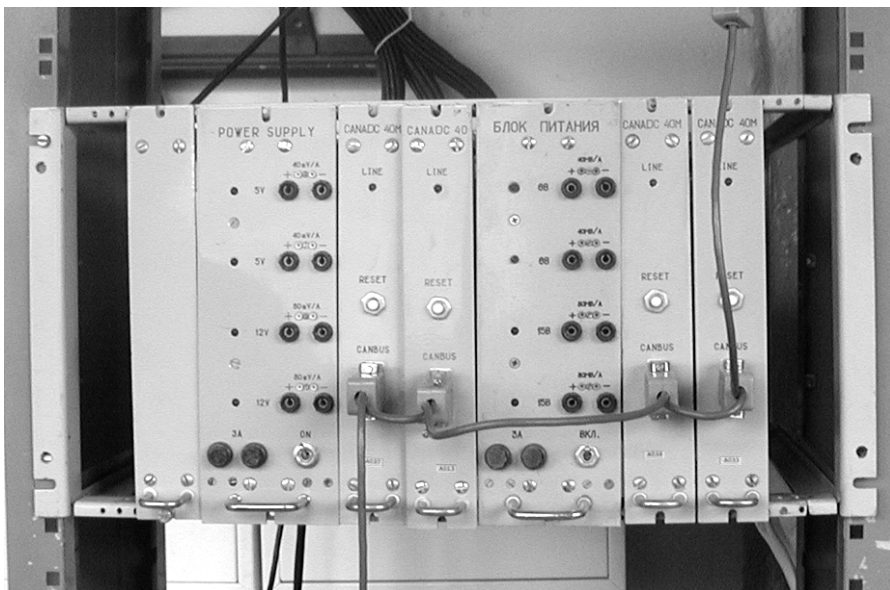


Рис. 8. Фотография стойки с 4 CANADC40 и источниками питания.

На настоящий момент в институте разработан ряд измерительных устройств с интерфейсом CANbus. Как было показано в предыдущей главе, основными требованиями на измерительную аппаратуру для данной системы, являются высокая точность измерения и низкое быстродействие. Этим характеристикам полностью удовлетворяет аналого-цифровой преобразователь CANADC40, разработанный в ИЯФ-е и работающий в формате CANbus. Этот контроллер имеет следующие характеристики:

Таблица 4. Характеристики многоканального АЦП CANADC40.

ADC точность	0,03%
ADC разрешение	24 bits
ADC число каналов	40
ADC диапазон	$\pm 10V$
Каналов выходного регистра	8
Каналов входного регистра	8

В данной системе планируется использовать до 160 термодатчиков. Для этого требуется 4 контроллера CANADC40.

6. Программное обеспечение

Особенностью комплекса является удаленность машины оператора от датчиков (>30 метров), большое количество датчиков (160), низкие требования ко времени реакции (нет необходимости в ОС реального времени).

Исходя из этих требований был выбран следующее оборудование:

- Адаптер CANBUS iPC-I320/PCI (фирмы IXXAT)
- 4 блока АЦП CANADC 40*24 на 40 каналов (производства ИЯФ)

В качестве машины оператора в настоящее время используется Pentium 200 MMX под управлением ОС Windows (NT 4.0), для записи и хранения измеренных значений температуры использована БД MySQL.

Для удобства работы оператора была написана программа, обеспечивающая следующую функциональность:

1. Чтение значений напряжения датчиков и вычисление температуры и производных.
2. Отображение текущих значений температуры датчиков в виде индикаторов (на схеме установки), и в виде гистограммы.
3. Установку порогов каждого датчика, их местоположение на схеме, комментария, режима работы (On, Inactive).

Для каждого датчике устанавливается 2 порога для температур, и 2 порога для производной температуры. Первый порог (Warning) – предупреждение (включается звуковая сигнализация, и датчики меняют цвет на желтый) Второй порог (Limit) – максимально допустимое значение (включается звуковая сигнализация, и датчики меняют цвет на красный). Через EPICS Channel Access возвращает состояние системы термодатчика, и управляющая программа принимает решение – выключать ли установку.

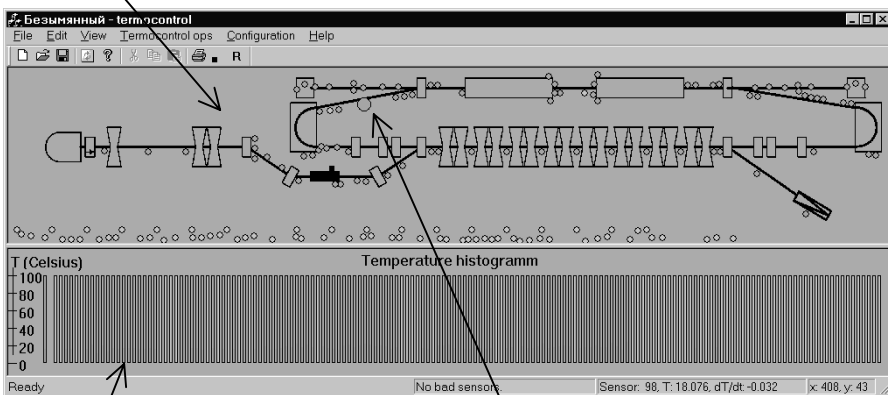
4. Проверку температур и производных датчиков, сверку с выставленными пределами, и сигнализацию (индикаторы и столбики на гистограмме становятся желтыми или красными, раздается гудок)

5. Через EPICS Channel Access возвращает состояние системы термоконтроля. При превышении допустимых значений температуры или производной сигнализирует об опасной ситуации.
6. Просмотр истории датчиков (температуры) с квантом 60 секунд.
7. История за месяц температур и производных сохраняется в базе данных (MySQL).
8. Таблица калибровки датчиков.
9. Сохранение текущей конфигурации на диске.
10. Сигнализацию об обрыве/замыкании датчика.

6.1. Интерфейс программы

Главное окно разбито на 2 части – схему установки с установленными на нее датчиками и шкалу гистограммы (Рис. 9). При наведении на любой датчик или столбец гистограммы в нижней части окна программы появляются текущие значения температуры и производной температуры по времени датчика.

Схема установки с расположением термодатчиков



Гистограмма температур датчиков

Выбранный датчик, его номер и значения температуры и производной

Рис. 9. Окно программы управления системой термоконтроля.

Для получения более подробной информации можно вызвать окно детальной информации, в котором можно посмотреть историю температур датчика за любой выбранный час.

В режиме конфигурации программа позволяет выбрать предельные значения температур и производных, режим работы, установить местоположение на схеме, ввести описание для каждого датчика.

6.2. Основные потоки программы

- Поток обработки пакетов от АЦП. В этом потоке происходит обработка входящих пакетов с шины CANBUS, их обработка, и проверка состояния термосистемы.
- Поток EPICS Channel Access. Данный поток обслуживает запросы из локальной сети (создает и обслуживает process variable, информирующую о состоянии термосистемы).
- Поток интерфейса пользователя. Обрабатывает запросы пользователя и сигнализирует о состоянии системы.

Благодарности

Один из авторов благодарен программе “Университеты России” за частичную финансовую поддержку.

Литература

- [1] Сибирский центр фотохимических исследований, годовой отчет, 2002.
- [2] Мощный лазер на свободных электронах Сибирского Центра Фотохимических Исследований. Система измерения положения пучка., Препринт ИЯФ СОРАН, 2003, в печати.
- [3] Мощный лазер на свободных электронах для Сибирского Центра Фотохимических Исследований. Система управления и контроля источников питания электромагнитов, Препринт ИЯФ СОРАН, 2003-69.
- [4] Мощный лазер на свободных электронах для Сибирского Центра Фотохимических Исследований. Система защиты, Препринт ИЯФ СОРАН, 2003, в печати.
- [5] *Шорин*, Теплопередача, Москва, ВШ, 1964.
- [6] *Г.М. Протопопова, В.Я. Чудаев*, Защита от тормозного излучения электронных ускорителей с энергией 0.5 – 3 МэВ, Препринт ИЯФ 87-115.
- [7] Таблицы физических величин, под ред. И.К.Кикоина, Москва, Атомиздат, 1976.

*Н.А. Винокуров, Б.А. Гудков, В.Р. Козак, В.В. Кубарев,
А.Н. Матвеевко, С.В. Мигинский, А.Д. Орешков, П.А. Селиванов,
С.С. Середняков, С.В. Тарарышкин*

**Мощный лазер на свободных электронах для
Сибирского Центра Фотохимических Исследований.
Система температурного контроля**

*В.А. Gudkov, V.R. Kozak, V.V. Kubarev, A.N. Matveenko,
S.V. Miginsky, A.D. Oreshkov, P.A. Selivanov, S.S. Serednyakov,
S.V. Tararyshkin, N.A. Vinokurov*

**Free electron laser for the Siberian Center for Photochemical Research.
Temperature control system**

ИЯФ 2003-77

Ответственный за выпуск А.М. Кудрявцев
Работа поступила 13.11.2003

Сдано в набор 14.11.2003

Подписано в печать 17.11.2003

Формат 60x90 1/16 Объем 1.1 печ.л., 0.9 уч.-изд.л.

Тираж 167 экз. Бесплатно. Заказ № 77

*Обработано на IBM PC и отпечатано
на ротапринтере ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН
Новосибирск, 630090, пр. Академика Лаврентьева, 11*