

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОРАЗРЯДНОГО КОНТУРА ГАЗОВОГО ЛАЗЕРА

*В.В. Голян<sup>1)</sup>, Н.В. Голян<sup>2)</sup>*

<sup>1)</sup> ХНУР, 61166, г. Харьков, проспект Ленина,9, e-mail: veragolyan@yandex.ru

<sup>2)</sup> ХНУР, 61166, г. Харьков, проспект Ленина,9, e-mail: nata2012.nn@gmail.com

*Резюме:* Исследовано моделирование, оптимизация электронного устройства и ускорение процесса настройки пропорционально-интегрально-дифференциальных регуляторов, которые регулируют парциальное давление компонентов газовой смеси в газодинамическом контуре газового лазера. Разработанный программный продукт позволяет автоматически формировать: коэффициенты пропорционально-интегрально-дифференциальных регуляторов и журнал – ведомость работы установки на каждом этапе оптимизации. Программный продукт разработан для ЭВМ типа IBM PC/AO PENTIUM в среде Borland C++ Builder v.6.

*Ключевые слова:* газоразрядный контур, устройство связи с обонентом, оптимизационные коэффициенты, парциально-интегральные-дифференциальные регуляторы

## **Введение**

Использование моделирования для построения лазерных установок является сегодня все более актуальным в связи с все большей потребностью автоматизации производства.

В связи с этим системы автоматизированного проектирования используют при прогнозировании поведения моделируемых объектов. Например, характеристики современной лазерной установки могут быть определены и предсказаны средствами моделирования. [1]. В производстве, как правило, применяются CO<sub>2</sub>-лазеры. Высокие удельные энергетические характеристики таких лазеров сочетаются с высоким коэффициентом полезного действия, достигающим 20-25%, и возможностью эффективного возбуждения больших объемов активной среды.[2]. Осуществление прокачки и охлаждения рабочей смеси позволяет создать мощные лазерные установки, работающие как в непрерывном, так и в импульсно-периодическом режиме.

Мощные CO<sub>2</sub>-лазеры представляют собой сложные технические объекты, характерной особенностью которых является наличие несколько сотен точек контроля и управления, многосвязность подсистем, неустойчивость работы отдельных подсистем, сложность процедур пуска, останова и диагностики узлов и блоков лазерной установки.

В связи с этим, эффективность использования таких установок в производственных целях в значительной степени зависит от степени автоматизации функций управления, как на уровне подсистем, так и всей установки в целом. Кроме того, в настоящее время не утратил своей актуальности

сбор данных о работе лазерной установки, это связано с тем, что не все их характеристики в достаточной мере изучены. Наряду с этим существует проблема модернизации уже используемых в производстве лазерных установок, что связано с отсутствием в их конструкций многих необходимых для автоматизации элементов управления и контроля. Управление и контроль параметров таких установок основано на экспертном методе, что в свою очередь ухудшает экономический эффект от использования таких установок. Этот факт является причиной серьезного снижения экономического эффекта из-за увеличения расходов на эксплуатацию газовой подсистемы, а также подсистемы юстировки зеркал.

Все это потребовало новых подходов к моделированию, автоматизированному проектированию лазерных устройств, анализу и исследованию которых посвящена работа.

## **1. Цель и задачи исследования**

Цель работы состоит в улучшение качества управления газовым контуром технологического CO<sub>2</sub>-лазера за счёт автоматической генерации кодов моделирующей программы и автоматизации сбора данных о состояниях лазера.

Для достижения цели необходимо решить следующую задачу: разработать программное обеспечение интеллектуального терминала лазерной установки, которое в свою очередь минимизирует затраты на расход газов, за счет организации оптимального регулирования. Для выполнения поставленной задачи необходимо установить:

- оптимизирующую настройку ПИД-регуляторов, регулирующих подачу компонентов газовой смеси в газодинамическом контуре (ГДК);
- необходимые коэффициенты передачи ПИД-регуляторов;
- сбор и сохранение экспериментальной информации о работе системы для дальнейшего использования;
- математический метод анализа полученной информации с целью определения необходимых оптимизационных коэффициентов.

## 2. Анализ предметной области

В современной практике проектирования больших промышленных систем часто используется эмпирический подход. Это объясняется тем, что большую систему принципиально невозможно точно описать и точно предсказать ее поведение. Единственный метод, позволяющий облегчить проектирование (а часто и эксплуатацию) такой системы – это процедура моделирование.

Модель представляет объект, систему или понятие (идею) в некоторой форме, отличной от формы их реального существования. Она служит средством, помогающим в объяснении, понимании или совершенствовании системы. Модель какого-либо объекта может быть или точной копией этого объекта (хотя и выполненной из другого материала и в другом масштабе), или отображать некоторые характерные свойства объекта в абстрактной форме. [3]

## 3. Описание структуры системы газонапуска

Газообеспечивающая система включает в себя газовый контур, подсистему вакуумирования, подсистему напуска и прокачки газов. Газовый контур представляет собой замкнутый вакуумно-герметический объем, образованный стыковой нескольких сборочных узлов, а именно:

- газоразрядной камеры ГРК в сборе с оптическим резонатором;
- вентилятора;
- переходника;
- диффузора.

Частота вращения крыльчаток вентилятора может составлять 2000 или 4000 об/мин в зависимости от включения обмоток асинхронного электродвигателя (1500 об/мин или 3000 об/мин соответственно). Переходник сопрягает ГРК и диффузор и представляет собой патрубок

изогнутой формы. Диффузор предназначен для плавного расширения газового потока на выходе из центробежного вентилятора. Подсистема вакуумирования включает в себя вакуумный пластинчато-роторный насос, коммутационную аппаратуру, соединительную арматуру. Коммутационная аппаратура состоит из четырех электромагнитных клапанов, вентиля с электромеханическим приводом, натекателя, а также манометрического преобразователя для измерения вакуума в системе. Соединительная арматура состоит из трех сильфонных компенсаторов, маслоотделителя (цеолитовой ловушки) соединительных элементов. Подсистема напуска и прокачки газов состоит из баллонов с углекислым газом, азотом и гелием, коммутационной аппаратуры и соединительных элементов.

Подсистема вакуумирования предназначена для откачки газового контура до величины остаточного давления не более 26,6 Па. (0,2 мм рт. ст.) поддержания заданного состава газа и давления на протяжении всего цикла работы установки.

Подсистема напуска и прокачки газов предназначена для подачи газов в заданном соотношении в контур как при первичном заполнении, так и при подпитке контура в процессе работы установки.

Подсистема регулируя парциальные давления компонентов газовой смеси влияет на мощность излучения, температуру газовой смеси в газовом контуре, КПД лазера а также существенно влияет на экономические затраты связанные с эксплуатацией лазера. Последний фактор обусловлен существенной стоимостью компонентов газовой смеси.

## 4. Описание системы управления лазерной установкой

Необходимость специальной организации регулирования компонентов газовой смеси обусловлена наличием ряда случайных факторов – возмущений, действие которых может привести к нарушению нормального течения технологического процесса и вызвать недопустимо большие отклонения параметров: температуры газовой смеси в камере или пульсации мощности лазерного излучения. Кроме того, при неоптимальном регулировании существенно ухудшаются экономические параметры лазерной установки (ЛУ). К случайным факторам, нарушающим нормальное функционирование ЛУ можно отнести: процентное содержание примесей.

Чтобы иметь возможность целенаправленно вмешиваться в ход технологического процесса, поддерживать регулируемые величины в оптимальных границах на протяжении всей эксплуатации, ЛУ снабжают специальными регулирующими органами, с помощью которых можно формировать регулирующие воздействия способные противостоять влиянию возмущений.

Устройство связи с объектом МикроДАТ с микропроцессорным модулем КМС59.07, на входы которого подается давление газов в газовом контуре, температура газов, мощность излучения, парциальное давление компонентов газовой смеси, рассчитывает и подает сигналы управления регулирующими воздействиями.

Изменение парциального давления компонентов газовой смеси производится электромагнитным регулятором. Однако одного линейного согласования входных и выходных параметров недостаточно для удовлетворительной работы автоматического регулятора. Необходимо также настроить его. Кроме этого следует учитывать, что система инерционна и в ней возможно появление расходящихся колебаний.

Представим себе алгоритм действия человека при регулировании. При появлении отклонения деления от необходимого значения (например, при превышении), оператор начнет прикрывать регулирующий орган, однако делать он будет это с определенной осмотрительностью, прогнозируя возможность изменения отклонения на будущее. По-видимому, он будет перемещать регулирующий орган тем быстрее, чем больше будет отклонение давления, но при этом будет также оценивать и скорость изменения давления, имея в виду, что чем больше эта скорость, тем больше отклонение давления следует ожидать в будущем. Особенную осторожность он будет проявлять в предверии оптимума.

Приведенные соображения о характере его действий заставляют предположить, что осуществляемое им перемещение регулирующего органа зависит, по крайней мере, от двух составляющих: от отклонения регулируемой величины и скорости ее изменения.

Очевидно, что при замене работы человека-оператора работой автоматического регулятора необходимо иметь в виду отмеченное обстоятельство, т. е. предусмотреть, чтобы автоматический регулятор формировал регулирующее воздействие в соответствии с некоторым алгоритмом.

## 5. Процедура настройки системы при разработке и эксплуатации системы

Задача динамической настройки системы в процессе выполнения этих стадий обычно приходится решать несколько раз.

Впервые эта задача возникает в процессе проектирования системы. Строго говоря, на этом этапе разработки системы задача ставится в более широком плане – как задача выбора оптимальной структуры системы и оптимальных алгоритмов функционирования регуляторов. Второй раз с задачей настройки системы регулирования приходится сталкиваться на стадии внедрения после выполнения монтажа запроецированной системы в процессе пусконаладочных работ и в процессе эксплуатации. И хотя с первого взгляда может показаться, что настройка системы на этом этапе должна состоять только в уточнении результатов, полученных на стадии проектирования, реально объем работ здесь, оказывается достаточно большим. На головных образцах новых систем наладочные работы иногда перерастают в серьезные исследования, в процессе выполнения которых не только уточняются параметры настройки (эти параметры, как правило, к началу наладки оказываются вообще неизвестными), но часто принимаются решения о существенном изменении структуры системы регулирования.

В этой связи возникает вопрос, необходима ли такая двухступенчатая процедура настройки? Не является ли это следствием некачественного проектирования?

Ответ на этот вопрос в значительной степени заложен уже в самой методике решения задачи синтеза системы управления. Проектирование системы состоит из следующих этапов:

а) выбираются варианты возможных структур системы, т.е. определяются сигналы, которые предполагается подавать на регуляторы, а также регулирующие воздействия и составляется (аналитически) или определяется экспериментально (если автоматизируется уже работающий объект) математическая модель объекта регулирования для выбранных входных и выходных сигналов;

б) По этой модели отыскиваются оптимальные (в смысле принятого критерия оптимальности) алгоритмы функционирования регуляторов.

Основным уязвимым местом этой процедуры является то, что модель объекта регулирования (как и всякая математическая модель) отражает действительные свойства объекта приближенно.

Помимо неопределенности выбора критерия приближения модели объекта к реальному объекту следует отметить еще две особенности построения моделей:

а) малая погрешность построения математической модели объекта не гарантирует, что отклонение синтезированной по этой модели системы регулирования от действительно оптимальной системы (которая была бы получена, если бы модель объекта была точной) будет также малым.

б) выбрав некоторый критерий приближения, заранее нельзя сказать, какое именно конкретное малое численное значение погрешности модели объекта должно быть достигнуто для того, чтобы можно было считать эту модель удовлетворительной.

Таким образом, задача построения модели объекта оказывается противоречивой уже в своей постановке: для построения модели объекта требуется знать алгоритм функционирования регулятора, для определения которого и нужна модель.

Для выполнения поставленной задачи необходимо установить необходимые коэффициенты передачи ПИД-регуляторов. Коэффициенты передачи определяются на основе анализа данных о ходе эксплуатации регуляторов. Как следствие необходимо организовать сбор и сохранение экспериментальной информации о работе системы для дальнейшего использования. Кроме того необходимо реализовать математический метод анализа полученной информации с целью определения необходимых оптимизационных коэффициентов.

Обмен информацией с регулятором возможен посредством последовательного порта с интерфейсом RS-232, который имеется в наличии и у устройства управления и у устройства оптимизационного регулирования ПК. Для плодотворного использования последовательный порт необходимо настроить соответствующим образом.

Информацию, полученную в ходе эксперимента целесообразно сохранять в базе данных для облегчения ее анализа при подсчете оптимизационных коэффициентов и в иных инженерных нуждах. Кроме того, целесообразно будет организовать визуальное информирование пользователя о ходе процессов происходящих в лазерной установке во время ее эксплуатации.

## **6. Алгоритм регулирования**

Для определения оптимальных параметров настройки регуляторов (параметрической опти-

мизации автоматической среды регулирования (АСР)) необходимы сведения о статистических и динамических характеристиках объектов регулирования и действующих в АСР возмущений. Эти характеристики могут быть получены либо аналитически, либо экспериментально. Ввиду недостаточной изученности объекта регулирования и необходимости принимать при его математическом описании ряд упрощающих предположений наиболее достоверными следует признать статические и динамические характеристики объектов регулирования, полученные экспериментально. Статические характеристики действующих в АСР возмущений могут быть получены только в результате эксперимента.

Выбор метода экспериментального исследования действующего объекта определяется характером поставленной задачи, допустимыми по технологическим требованиям отклонениями исследуемых величин, характером эксплуатационных возмущений. При этом получение искомым характеристик возможно путем пассивного и активного экспериментов.

Метод пассивного эксперимента основан на регистрации контролируемых параметров процесса в режиме нормальной работы объекта без внесения в него каких-либо преднамеренных возмущений. Метод активного эксперимента основан на использовании определенных искусственных возмущений, вводимых в объект по заранее спланированной программе.

Введение искусственных возмущений позволяет целенаправленно и достаточно быстро определять искомые характеристики. Однако чтобы исключить влияние естественного шума, искусственные возмущения должны быть значительными. Для ЛУ введение таких искусственных возмущений недопустимо, так как при этом возможны нарушения технологического режима.

Объем экспериментальных работ существенно зависит от цели исследования. Так, для определения оптимальных настроек регуляторов достаточно определить частотные или переходные характеристики объекта по каналу регулирования при максимальной, средней и минимальной нагрузках (если характеристики зависят от нагрузок). Для оценки максимальной ошибки регулирования в дополнение к этому необходимо определить переходную характеристику по каналу наиболее опасного возмущающего воздействия.

Достоверность найденной статической математической модели в значительной мере зависит

от организации эксперимента. Общее число опытов должно быть больше числа определяемых коэффициентов управления минимум в 10 – 30 раз. Погрешность измерения каждого параметра должна быть пренебрежимо мала по сравнению с диапазоном его изменения на интервале наблюдения.

## 7. Структурная схема программной системы

В результате выполненного анализа инструментальных средств была выбрана среда разработки Borland C++ Builder 6.0, как наиболее оптимальная для разработчика. Безусловно, для реализации поставленной задачи главным является расчет оптимизационных коэффициентов на основе собранной информации о протекании процессов во время эксплуатации ЛУ. Но не следует также упускать из вида тот факт, что программа накапливает экспериментальную информацию о процессах происходящих в ЛУ, что может быть использовано в дальнейшем для разработки новых типов лазерного оборудования.

Программную систему можно представить в виде таких взаимосвязанных функций:

- функция обмена информацией с УСО ЛУ;
- накопление получаемой информации;
- обработка полученной в ходе эксперимента информации для получения оптимизирующих коэффициентов;
- передача устройству связи с объектом полученных в ходе обработки экспериментальной информации, оптимизационных коэффициентов;
- организация интерфейса работы пользователя с накопленной экспериментальной информацией [4].

При этом функции обмена информацией с УСО ЛУ и накопления получаемой информации работают циклически вызывая друг-друга на первом этапе выполнения программы. При их завершении вызывается функция-обработчик накопленной информации. Эта функция согласно выбранному методу оптимизации производит расчет величины целесообразных оптимизационных коэффициентов, которые будут переданы УСО ЛУ по окончании их расчета, посредством функции обмена информацией с УСО ЛУ.

В свою очередь организация интерфейса работы пользователя с накопленной экспериментальной информацией реализована в виде отдельной функции, которая доступна для выполнения,

когда программная система не производит сбор информации но имеет при этом информацию накопленную в ходе предыдущих опытов.

## Выводы

Управление лазерной установкой сложный наукоемкий процесс. В связи с тем, что при генерации когерентного излучения возникает ряд малоизученных, зависящих от большого количества факторов, процессов. При этом использующийся ныне метод задачи нормативных оптимизационных коэффициентов устарел. В виду того что оптимизационные коэффициенты при использовании этого метода задаются заводом изготовителем лазерной установки и имеют существенную погрешность из-за ограниченности числа опытов. Кроме того, оптимизационные коэффициенты при таком определении не зависят от индивидуальных особенностей установки, которые могут изменяться в условиях эксплуатации.

На основе вышесказанного в рамках данной работы была разработана программная система, накапливающая информацию о характеристиках ЛУ в ходе процесса эксплуатации, а также производящая необходимые манипуляции с полученной информацией. Получаемые таким образом оптимизационные коэффициенты являются более точными.

Были исследованы методы наладки автоматических систем регулирования. На основании проведенных исследований выбран метод пассивного эксперимента, который позволяет избежать внесения искусственных возмущений в объект регулирования в процессе наладки. Так как из-за внесения искусственных возмущений в процессе наладки существенно ухудшается качество выпускаемой продукции, кроме того возникает вероятность возникновения автоколебаний в системе.

## Список литературы.

[1] Федеральный портал «Инженерное образование» <http://techno.stack.net/>.

[2] **Архангельский А. Я.** C++Builder 6. // Справочное пособие. Книга 1. Язык C++. – М.: Бином-Пресс, 2002 г. – 544 с.

[3] **Звелто О.** Принципы лазеров: Пер. с англ. //3-е перераб и доп.. изд. – М.: Мир, 1990. – 560 с.

[4] **Коннолли Т., Бег К., Строчан А.** Базы данных: проектирование, реализация, сопровождение. //Теория и практика, 2-е изд.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2000. – 1120 с.

# MODELING CHARACTERISTICS OF THE GAS DISCHARGE PATH OF THE GAS LASER

*Golyan V.V*<sup>1)</sup>, *Golyan N.V*<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> KhNUR, 61114, , Kharkov, Lenin Avenue,14, e-mail: veragolyan@yandex.ru

<sup>2)</sup> KhNUR, 61114, , Kharkov, Lenin Avenue,14, e-mail: nata2012.nn@gmail.com

*Abstract:* - Investigation it hardware-software communication lasers machines in computers for optimization charges in gaseous subsystem of lasers machines. The purpose of the project - automation workplace of the engineer , increase of efficiency of his work by introduction of software. The developed software allows to form automatically documents: the characteristics subsystems of lasers machines. The software is developed for the computer such as IBM PC/AO PENTIUM in the environment Borland C ++ Builder v.6.

*Key-Words:* - a discharge circuit, a communication device with abonenta, optimization coefficients, partial-integral- differential controllers

## References:

[1] Federal'nyy portal «Inzhenernoye obrazovaniye» <http://techno.stack.net/>.

[2] **Arkhangel'skiy A. Ya.** C++Builder 6. // Spravochnoye posobiye. Kniga 1. Yazyk S++. – M.: Binom-Press, 2002 g. – 544 s.

[3] **Zvelto O.** Printsipy lazerov: Per. s angl. //3-ye

pererab i dop.. izd. – M.: Mir, 1990. – 560 s.

[4] **Konnolli T., Beg K., Strachan A.** Bazy dannykh: proyektirovaniye, realizatsiya, so-provozhdeniye. //Teoriya i praktika, 2-ye izd.: Per. s angl. – M.: Izdatel'skiy dom «Vil'yams», 2000. – 1120 s

# МОДЕЛИРАНЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИТЕ НА ГАЗОРАЗРЯДНИЯ КОНТУР НА ГАЗОВ ЛАЗЕР

*В.В. Голян*<sup>1)</sup>, *Н.В. Голян*<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> ХНУР, 61166, г. Харков, бул. Ленина,9, e-mail: veragolyan@yandex.ru

<sup>2)</sup> ХНУР, 61166, г. Харков, бул. Ленина,9, e-mail: nata2012.nn@gmail.com

*Резюме:* Изследвани са моделирането, оптимизацията на електронното устройство и ускоряването на процеса на настройка на пропорционално-интегрално-диференциални регулатори, които регулират парциалното налягане на компонентите на газовата смес в газодинамичния контур на газов лазер. Разработеният софтуер позволява автоматично да се формират: коефициентите на пропорционално-интегрално-диференциални регулатори и дневник – ведомост за работата на устройството на всеки етап от оптимизацията. Софтуерният продукт е разработен за компютри от типа IBM PC/AO PENTIUM в среда Borland C ++ Builder V.6.

*Ключови думи:* газоразряден контур, комуникационно устройство с клиент, оптимизационни коефициенти, парциално-интегрално-диференциални регулатори.