

УДК 623.418

В.В. Стешов¹, Г.Л. Лямкин²**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОТРАБОТКА ВНУТРЕННЕЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СТВОЛА АРТИЛЛЕРИЙСКОГО ОРУДИЯ СРЕДНЕГО КАЛИБРА**ОАО «ЦНИИ «Буревестник»¹,
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева²

Рассмотрен экспериментальный способ подбора параметров настройки форсунок, обеспечивающих равномерное покрытие охлаждающим составом внутренней поверхности ствола.

Ключевые слова: артиллерия, охлаждение ствола, гидropневматическая форсунка эксперимент, стенд.

Экспериментальные данные и результаты расчетов показывают, что приемлемым решением задачи поддержания температуры внутренней поверхности камеры артиллерийского орудия среднего калибра на уровне не более 170°C является только принудительное охлаждение впрыском жидкостно-воздушной смеси, что обусловлено следующим.

Во-первых, значительная (>50 мм) толщина стенки камеры делает бессмысленным применение каких-либо наружных по отношению к стволу систем охлаждения, так как определяющим является термическое сопротивление стенки. При этом следует отметить, что, несмотря на положительный аккумулярующий эффект толстой стенки в периоде одного боевого дня, эффект этот не может проявиться в значимой мере в периоде одного огневого налета.

Во-вторых, при темповой стрельбе основная тепловая нагрузка сосредотачивается в тонком слое толщиной менее 5 мм, расположенном у внутренней поверхности. Это происходит вследствие того, что переток тепла в более глубокие слои происходит приблизительно на один-два порядка медленнее, чем приход тепла с внутренней поверхности при конвективном теплообмене с пороховыми газами.

В-третьих, большие значения давления в таких орудиях при стрельбе на максимальном заряде (400 МПа и выше) не позволяют выполнить в стенке камеры продольные каналы для циркуляции охлаждающей жидкости близко к внутренней поверхности по условиям прочности и технологичности. Поэтому снятие тепла непосредственно с внутренней поверхности является в данном случае оптимальным решением.

В-четвертых, относительно низкая скорострельность орудий среднего калибра даже с учетом современных требований позволяет в рамках одного цикла выделить достаточно времени как для самого процесса впрыска, так и для выкипания жидкости со стенок камеры.

Поэтому создание системы охлаждения ствола артиллерийского орудия среднего калибра сводится главным образом к разработке узла подачи охлаждающей смеси, обеспечивающей оптимальный теплоотвод с внутренней поверхности камеры. Важное значение имеет расположение форсунок в узле подачи (форсуночном узле) и их способность создавать смесь необходимого качества, формы и размеров факела распыла.

В связи с этим необходимо в первую очередь отработать конструкцию форсунки.

К особенностям форсунки, которая, в свою очередь, обусловлена условиями эксплуатации орудия и режимом работы системы охлаждения, следует отнести большое проходное сечение. Выбор такого сечения обусловлен, с одной стороны, малым временем работы системы охлаждения и относительно небольшими, от 8 до 12 атм, давлениями рабочих сред. Один цикл работы составляет 0,2-0,4 с, и за это время система охлаждения должна впрыснуть в камеру до 0,5 л воды. Несмотря на то, что форсунок несколько, расход жидкости через 1 форсунку в таких условиях составляет до 0,35 кг/с. С другой стороны, при эксплуатации

изделия возможна ситуация, когда охлаждающая жидкость будет пополнена водой с механическими примесями (грунт), и обеспечение надежной работы форсунок возможно только при условии достаточно большого проходного сечения. Большое сечение сопла и необходимость тонкого распыла жидкости обуславливают также тип форсунки - гидропневматическая, так как у чисто гидравлической форсунки тонкость распыления напрямую зависит от диаметра сопла, а у гидропневматической - от соотношения скоростей воздуха и жидкости.

Другая особенность форсунки - узкий конус факела распыления – обусловлена конструкцией форсуночного узла, расположенного у торца камеры таким образом, что несколько форсунок должны максимально равномерно орошать внутреннюю поверхность трубы под очень малыми ($8-12^\circ$) углами относительно ее продольной оси. При этом возникает эффект сталкивания струй, минимизация которого возможна в том числе путем проектирования проточной части форсунки, обеспечивающий узкий ($15-17^\circ$) конус факела распыления. Расчеты показали, что данный угол может быть достигнут при увеличении длины камеры смещения и выходного сопла в совокупности до величины не менее пяти диаметров выходного сопла. В данной форсунке она составляет 35-38 мм в зависимости от регулировки при диаметре сопла 6 мм, то есть 5,83-6,33 диаметра.

С целью проверки таких характеристик данной форсунки, как угол факела распыления и пропускная способность были проведены эксперименты.

При проведении экспериментов одна форсунка была укреплена так, чтобы распыление шло в свободное пространство горизонтально полу помещения, где проводились эксперименты. К форсунке были подключены вода и сжатый воздух с возможностью регулировки давления каждой из сред индивидуально в диапазоне от 6 до 12 атм. Для моделирования процесса впрыска экспериментальная установка была подключена к устройству дозирования, управляемому контроллером.

В результате экспериментов было подтверждено, что угол конуса в факеле распыления не превышает 15° , и к тому же на расстоянии около 1 м образующая конуса плавно искривляется внутрь, образуя фигуру, напоминающую далее вдоль по потоку скорее цилиндр, чем конус (рис. 1).

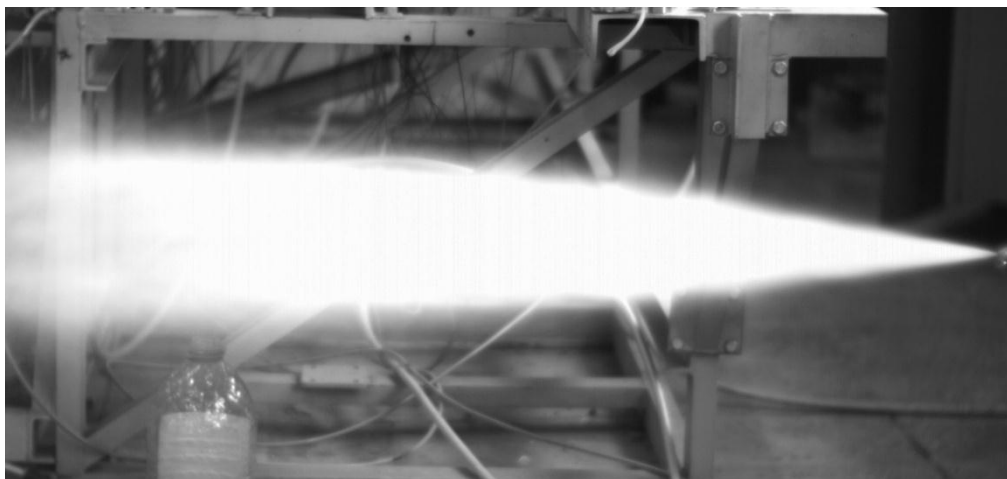


Рис. 1. Факел форсунки

Дальнобойность данной форсунки превысила 5 м, что более чем достаточно для работы в составе изделия, где требуемая дальнобойность не превышает 1,5 м.

Вследствие высокой динамики процесса впрыска и его малого времени установить расходомер для измерения количества жидкости не представлялось возможным, поэтому измерение расхода жидкости производилось следующим образом. Время впрыска определялось по значениям, введенным в контроллер системы дозирования, а также по собственным измерениям контроллера от срабатывания датчиков положения, к нему подключенных. Само

количество воды, вылетевшее из сопла за время впрыска, измерялось путем улавливания жидкости в прочный полиэтиленовый пакет большого размера, удерживаемый оператором во время впрыска в непосредственной близости от сопла так, чтобы жидкость оставалась в пакете, а воздух выходил. Вследствие больших скоростей жидкости и большого размера пакета эта система оказалась работоспособна, и выход жидкости из пакета вместе с воздухом оказался пренебрежимо мал, так как в объеме пакета скорость воздуха снижалась в десятки, а возможно и сотни раз.

Были проведены серии экспериментов для определения расхода при варьировании давления рабочих сред от 6 до 12 атм в различных сочетаниях для воздуха и воды. В результате этих экспериментов сначала было установлено, что требуемая пропускная способность может быть обеспечена только при увеличении диаметра водяного сопла с 4 до 5 мм. После доработки сопла были проведены новые эксперименты. В результате их было установлено, что требуемая пропускная способность в совокупности с приемлемой тонкостью распыления обеспечивается при давлении воздуха 8 атм, а жидкости - 12 атм.

Таким образом, погрешность предварительного расчета в одномерном приближении составила около 30% по водяному соплу, однако доработка не потребовала изготовления нового сопла, а только рассверливания существующего. Также доработка не повлекла за собой изменения угла конуса факела и тонкости распыла.

В результате проведенных работ была получена регулируемая гидропневматическая форсунка, обеспечивающая подбор оптимальных параметров подаваемой охлаждающей смеси (рис. 2).

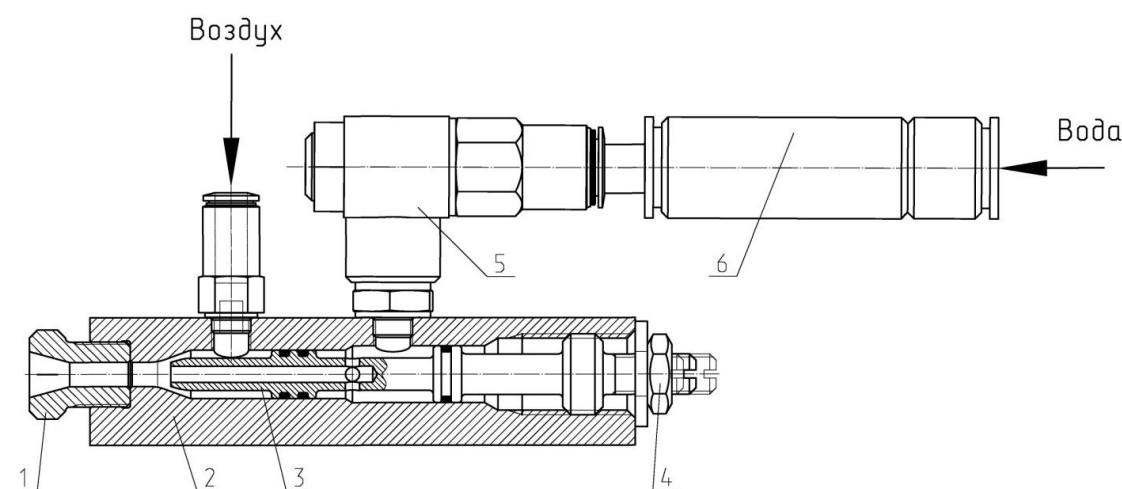


Рис. 2. Форсунка гидропневматическая:

1 – диффузор; 2 – корпус; 3 – сопло; 4 – контргайка; 5 – дроссель; 6 – обратный клапан

Дальнейшие эксперименты проводились в составе экспериментальной установки (рис. 3) по исследованию орошения внутренней поверхности камеры водо-воздушными капельными струями, формируемыми несколькими форсунками, где было определено оптимальное количество форсунок, параметры их пространственного положения, качество и количество смеси, обеспечивающие равномерное распыление охлаждающего состава по внутренней поверхности камеры.

Установка состоит из основания, в котором на цапфах подвешена станина с закрепленным на ней имитатором ствола и форсуночным узлом.

Станина устанавливается на любой угол возвышения. Форсуночный узел (рис. 4) установлен соосно с имитатором ствола и может перемещаться в осевом направлении.

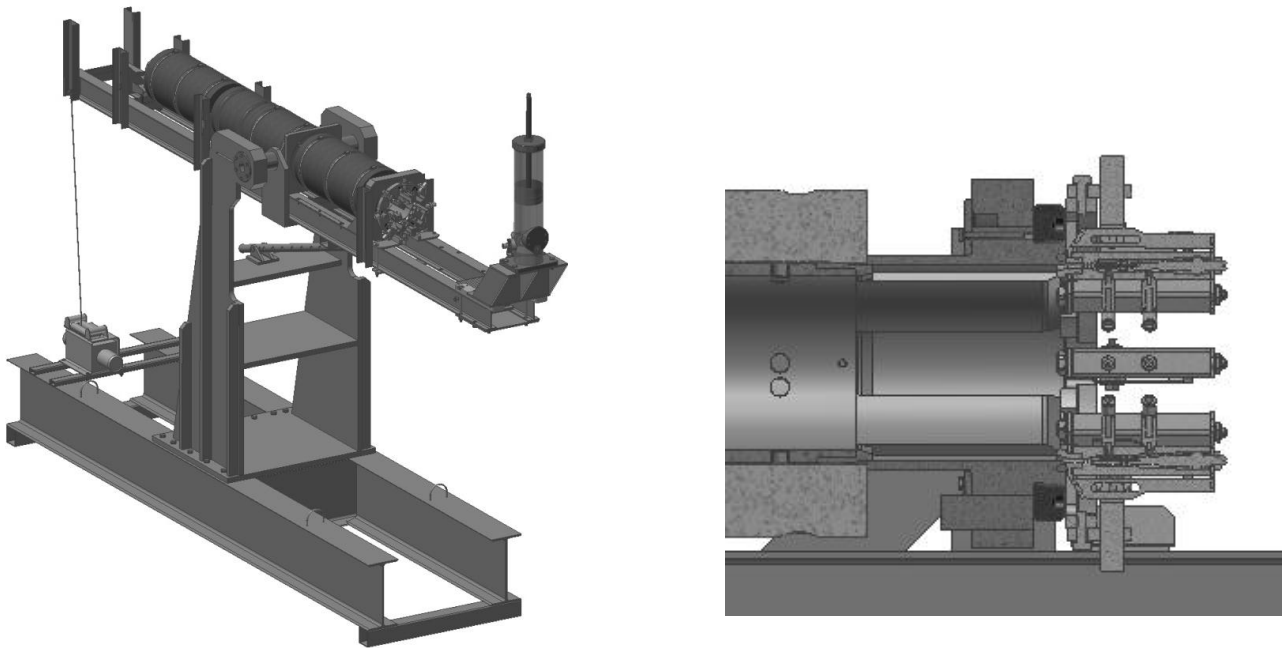


Рис. 3. Стендовая установка по исследованию орошения внутренней поверхности камеры ствола артиллерийского орудия

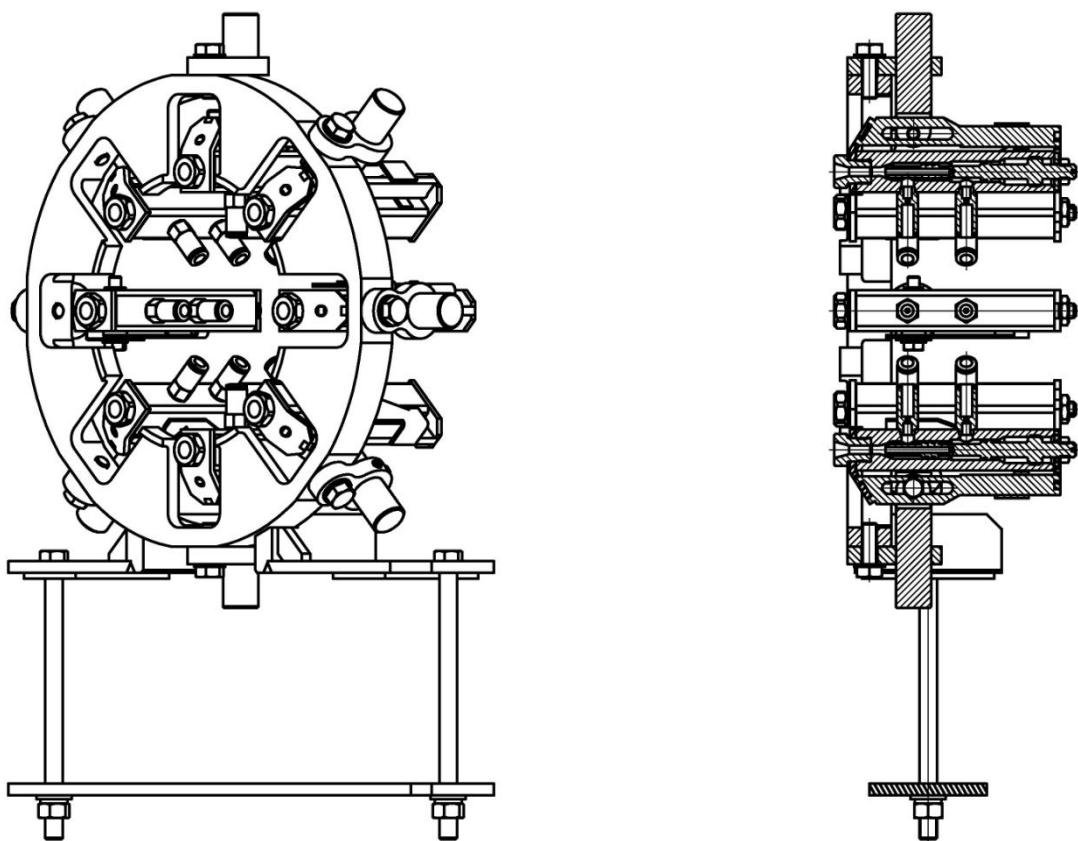


Рис. 4. Узел форсуночный

Положение каждой из восьми форсунок в форсуночном узле регулируется в двух линейных и трех угловых направлениях, что достаточно для проверки всех возможных вариантов подачи охлаждающей смеси.

Подача воды и воздуха осуществляется пневмосистемой установки под управлением контроллера (рис. 5).

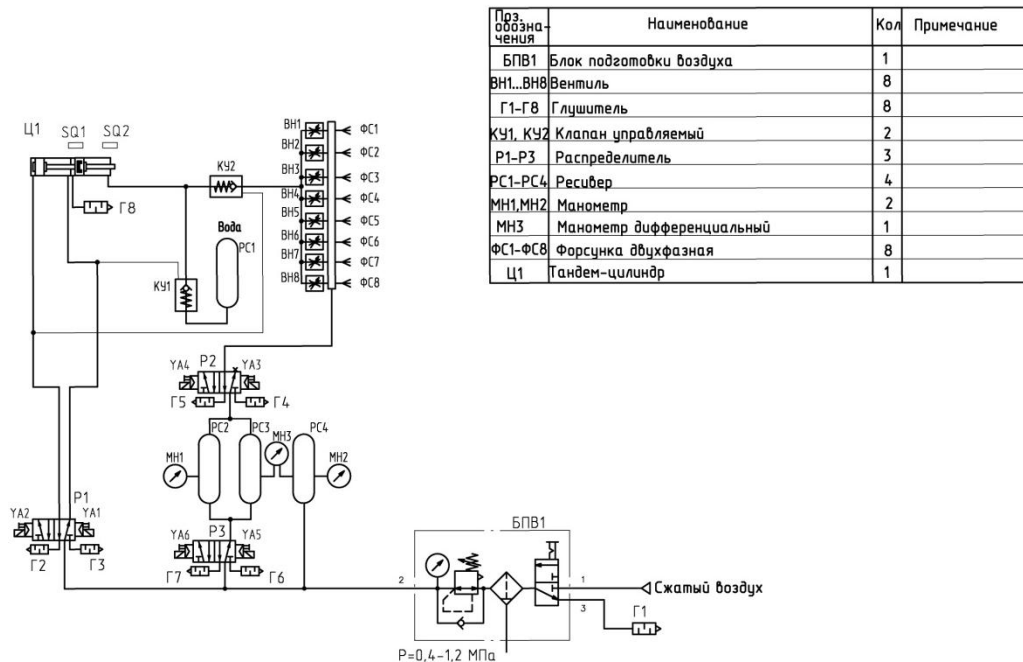


Рис. 5. Схема пневматическая принципиальная установки стендовой

В результате проведенных экспериментов на установке были получены параметры настройки форсунок, при которых обеспечивается равномерное покрытие охлаждающим составом внутренней поверхности камеры, а именно каждая форсунка устанавливалась в положение, обеспечивающее закручивание общего потока по часовой стрелке.

Для подтверждения эффективности системы охлаждения необходимо исследовать интенсивность теплообмена при орошении внутренней поверхности нагретой до 120-150°C камеры водо-воздушными капельными струями, например на экспериментальной установке темповой стрельбы.

Дата поступления
в редакцию 11.12.2014

V.V. Steshov, G.L. Liamkin

EXPERIMENTAL DEVELOPMENT OF AN INTERNAL COOLING SYSTEM OF A MEDIUM-CALIBER ARTILLERY BARREL

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev,
CRI Burevestnik, JSC, Nizhny Novgorod

The paper studies an experimental method of adjusting the nozzle parameters so that the inner surface of the barrel is uniformly covered with the coolant.

Key words: artillery, barrel cooling, hydro-pneumatic nozzle, experiment