

УДК 621.791.037:621.311.6

А. И. Бардин, канд. техн. наук, С.В. Никитин, дипл. инж.,

А.В. Романов, канд. техн. наук, А.В. Джаникян, дипл. инж.

(Рязанский Государственный радиотехнический университет),

А.П. Бирюков, дипл. инж. (Государственный Рязанский приборный завод)

ФОРСАЖ-502 –убедительная мощь и надежность

Приведены технические характеристики, основные функции и режимы нового инверторного сварочного аппарата ФОРСАЖ-502, работающего от трехфазной сети или автономных передвижных источников электропитания.

Ключевые слова: дуговая сварка, сварочные аппараты, ФОРСАЖ, технические характеристики.

Статья продолжает серию публикаций о сварочных аппаратах торговой марки ФОРСАЖ от ведущего российского производителя инверторного сварочного оборудования – Государственного Рязанского приборного завода (ГРПЗ) [1-4].

Профессиональный подход к инженерно-техническому решению в сочетании с применением новейшей элементной базы и передовых технологий позволили в кратчайшие сроки разработать и подготовить к серийному выпуску новый промышленный сварочный аппарат для механизированной и полуавтоматической сварки (MIG/MAG) ФОРСАЖ-502 (рис.1). На сегодняшний день это самый мощный отечественный сварочный инвертор, который способен обеспечить в дуге до **20 кВт полезной мощности** (500А, 40В). В аппарате достигнуто оптимальное сочетание высоких энергетических параметров с расширенными функциональными возможностями. ФОРСАЖ-502 полностью заменяет предыдущую модель данного класса ФОРСАЖ-500.

Традиционно для завода в рамках подготовки нового аппарата к запуску в серийное производство проведены эксплуатационные испытания на производственных объектах. При выполнении большого объема профессиональных сварочных работ разного уровня сложности специалистами были подтверждены высокие эксплуатационные характеристики сварочного аппарата ФОРСАЖ-502.



Рисунок 1. Сварочный аппарат ФОРСАЖ-502

Сварочные инверторы ФОРСАЖ-502 в режиме MIG/MAG используются совместно с внешними механизмами подачи проволоки ФОРСАЖ-МП, ФОРСАЖ-МПм, ФОРСАЖ-МП5 или аналогичными механизмами с напряжением питания 24В постоянного тока. В составе аппарата имеется встроенный источник питания механизма подачи проволоки (24 В). В

режиме MIG/MAG сварка производится в среде защитных газов сплошной или порошковой электродной проволокой диаметром от 0,8 до 2,0 мм.

ФОРСАЖ-502 может применяться для ручной электродуговой сварки (режим MMA) штучными плавкими электродами любой марки диаметром от 1,6 до 5,0 мм, а также в качестве источника тока для аргонодуговой сварки (режим TIG) при наличии дополнительного оборудования.

Государственный Рязанский приборный завод накопил достаточный практический опыт в создании инверторной сварочной техники, что позволяет постоянно совершенствовать не только сами изделия, но и идеологию его построения. В ФОРСАЖ-502 впервые реализован новый для предприятия подход к формированию товарного ряда, обеспечивающий максимальное удовлетворение потребностей разных категорий пользователей. Аппарат выпускается в двух модификациях – **базовой** и **расширенной**, отличающихся набором функциональных возможностей и регулировок параметров, которые определяются лицевой панелью управления/индикации (рисунок 2).



Рис. 2. Съемные взаимозаменяемые лицевые панели управления и индикации: **базовая (а), расширенная (б)**

В **базовой** модификации установлены заводские настройки дополнительных параметров. В **расширенном** варианте дополнительные параметры могут регулироваться у потребителя для получения оптимального результата сварки. Отличительные особенности модификаций представлены в таблице 1.

Таблица 1

Режим	Функция	Базовая модификация (заводские настройки)	Расширенная модификация (регулируемые настройки)
MMA	Горячий старт	160 %; 0,6 сек.*; отключаемый	0–200 %; 0–2 сек
	Наклон ВАХ	1,85 В/А*	0,35–1,85 В/А
	Форсаж дуги	100 ед. (0,35 В/А)*	0–100 ед. (1,85–0,35В/А)
MIG/ MAG	Базовый ток	25 А*	5–30 А
	Наклон ВАХ	0,015 В/А*	0,01–0,04 В/А
	Скорость нарастания тока при КЗ ($di_{кз}/dt$)	100 кА/сек*	60–160 кА/сек.
TIG	Ток дежурной дуги	15 А*	15–40 А
	Время нарастания тока	1 сек*	0,3–10 сек.
	Время спада тока (Заварка кратера)	3 сек*	0,3–15 сек.

TIG, MMA	Импульсный режим	нет	- время импульса: 0,05–2 сек., - время паузы: 0,05–2 сек., - ток паузы: от минимального до установленного
-------------	------------------	-----	---

* - значения параметров могут меняться по заявке Заказчика.

Основным элементом управления и защиты аппарата ФОРСАЖ-502 является программируемый микроконтроллер.

Силовой инвертор построен по схеме полного моста на современных ультрабыстрых IGBT-модулях с квазирезонансным переключением на нулевом напряжении (ZVS) и фазоразностной широтно-импульсной модуляцией (ФШИМ). Частота преобразования составляет около 30 кГц.

Аппарат ФОРСАЖ-502 оснащен всеми необходимыми защитными функциями, обеспечивающими надежную безаварийную работу: защита от отклонений напряжения питающей сети более допустимых значений (монитор питания), защита от перегрева термонапряженных элементов, защита от короткого замыкания в нагрузке. При возникновении аварийного события источник блокируется, выходное напряжение снижается до нуля, а при превышении сетевым напряжением уровня 450 В источник отключается от сети. Аппарат автоматически и полностью восстанавливает свою работоспособность при снятии аварийной ситуации. Кроме того, в аппаратах ФОРСАЖ-502 реализована защита от перегрузки по току силовых транзисторов. При возникновении аварийного события на дисплее выводится расширенная информация об ошибке.

Технические характеристики

Электропитание – трехфазная сеть переменного тока 50-60 Гц (стационарная или автономная) с номинальным линейным напряжением, В	380 (±15 %)
Электрическая мощность, потребляемая от сети, кВт·А, не более	27,7
Основной режим работы	MIG/MAG
Дополнительные режимы работы	MMA, TIG
Диапазон сварочного напряжения в режиме MIG/MAG, В	15–40
Диапазон сварочного тока в режиме MMA, А	20–500
Диапазон сварочного тока в режиме TIG, А	15–500
Напряжение холостого хода, В	
- в активном режиме	60–80
- в безопасном режиме (в режиме MMA)	4–6
Время переключения аппарата на безопасное напряжение холостого хода (в режиме MMA), сек, не более	0,6
Коэффициент электрической нагрузки (ПН) при рабочем цикле 10 мин и рабочей температуре окружающего воздуха +(25±2) °С, %:	
- при сварочном токе 500А	100
- при сварочном токе 400А	60
Диаметр электродной проволоки в режиме MIG/MAG, мм	0,8–2,0
Диаметр электрода в режиме MMA, мм	1,6–5
Цифровая индикация установленных и текущих параметров	есть
Дистанционное управление	есть
Габариты, мм	430x225x435

Масса, кг	25,9
Рабочий диапазон температуры окружающей среды, °С	-20...+40
Напряжение питания механизма подачи проволоки, В	24
Основные функции и режимы	См. по тексту

Основные функции и режимы

1. Цифровая индикация заданного значения сварочного тока (напряжения)

При отсутствии тока в сварочной цепи индикатор тока в режимах MMA и TIG или индикатор напряжения в режиме MIG/MAG показывают заданное значение тока (А) или напряжения (В) дуги. Для режима MMA напряжение, при котором сварочный ток будет равен заданному, определяется по формуле:

$$U = 20,0 + 0,04 \cdot I,$$

для TIG:

$$U = 10,0 + 0,04 \cdot I.$$

Для режима MIG/MAG ток, при котором напряжение будет равно заданному, определяется по формуле:

$$I = 20 \cdot (U - 14,0).$$

Для индикации предустановленных значений тока или напряжения соответствующие цифровые индикаторы мигают с периодом 0,5 сек, а в режиме сварки показывают реальные значения.

2. Точная регулировка выходного тока (напряжения)

Для установки заданного значения тока (напряжения) используется поворотный энкодер. Дискретность установки тока составляет 1 А, установки напряжения 0,1 В. При ускоренном вращении энкодера шаг увеличивается пропорционально скорости вращения.

3. Измерение и цифровая индикация текущего значения тока и напряжения сварочной цепи.

При наличии тока в сварочной цепи индикаторы тока и напряжения показывают текущее среднее значение измеряемой величины. Время усреднения составляет 1,0 сек. Точность измерения тока не хуже ± 3 А, напряжения – $\pm 0,5$ В (точки, на которых измеряется напряжение, – внутренний болт выходных силовых разъемов).

4. Набор вольтамперных характеристик

В аппаратах со **стандартной** лицевой панелью вольтамперные характеристики (ВАХ) оптимизированы для режимов работы:

- в режиме MMA – крутопадающая,
- в режиме TIG – штыковая (источник тока),
- в режиме MIG/MAG – пологопадающая.

В **расширенной** модификации наклон рабочего участка ВАХ регулируется в диапазонах:

- в режиме MIG/MAG – 10...40 мОм,
- в режиме MMA – 0,35...1,85 В/А.

5. "Горячий старт".

Применяется только в режиме MMA. В **базовом** варианте после зажигания дуги значение тока составит 160% от установленного значения (но не более максимального тока) и далее будет линейно спадать в течение 0,6 сек до нормы с возможностью включения/отключения этого режима кнопкой на передней панели аппарата.

В аппаратах **расширенной** модификации ток "Горячего старта" – регулируемый в диапазоне 0–200 % от установленного, время – в диапазоне 0–2 сек.: скорость спада тока постоянна, т.е. если увеличение будет, например, на 100%, то ток спадет за 1 сек.

6. "Форсаж дуги"

Применяется в режиме ММА. В **базовом** варианте увеличение выходного тока при уменьшении напряжения на дуге ниже 15 В за счет уменьшения наклона вольтамперной характеристики ниже этой точки с величины 1,85 В/А до 0,35 В/А. Фактически можно трактовать как увеличение тока КЗ.

В **расширенном** варианте "Форсаж дуги" диапазон регулирования составляет 0–100 условных единиц, соответствующих изменению наклона ВАХ в режиме близком к короткому замыканию (ниже 15 В) от 1,85 до 0,35 В/А.

7. Управляемая функция "Дежурная дуга"

Применяется в режиме TIG. Ток начала и окончания сварочного процесса. Если применяется горелка с кнопкой, то такое значение тока будет удерживаться до тех пор, пока сварщик будет удерживать кнопку после зажигания дуги или после заварки кратера.

В **базовом** варианте величина дежурного тока равна минимальному значению тока дуги в режиме TIG (15 А).

В **расширенном** варианте ток дежурной дуги может регулироваться в диапазоне от 15 до 40 А.

8. Функция плавного нарастания тока дуги

Применяется только в режиме TIG. В **базовой** модификации время линейного увеличения выходного тока от момента отпускания кнопки на горелке (после дежурного тока) до момента достижения им установленного номинального значения составляет 1 сек.

В **расширенном** варианте время плавного нарастания тока дуги в режиме TIG регулируется в диапазоне 0,3–10 сек.

9. Функция плавного спада тока дуги ("Заварка кратера")

Применяется только в режиме TIG. Время линейного уменьшения выходного тока от момента нажатия на кнопку на горелке (после проведения сварки номинальным током) до момента достижения им значения тока дежурной дуги. В **базовой** варианте составляет 3 сек.

Время "Заварки кратера" в **расширенном** варианте можно регулировать в диапазоне 0,3–15 сек.

После окончания выдержки на выходе аппарата будет стабилизироваться ток дежурной дуги до тех пор, пока удерживается кнопка. Если отпустить кнопку до окончания выдержки, ток прекратится.

10. Функция "Базовый ток"

Применяется в режиме MIG/MAG. Значение тока, ниже которого выходная "жесткая" характеристика аппарата имеет излом, и напряжение начинает возрастать вплоть до величины U_{xx} .

В **базовой** модификации величина базового тока оптимизирована, в **расширенной** – ток регулируется в диапазоне 5–30 А.

11. Функция плавного нарастания тока короткого замыкания.

Динамическая характеристика, применяется только в режиме MIG/MAG. Скорость увеличения тока на выходе аппарата с момента касания сварочной ванны расплавленной каплей сварочной проволоки. В **базовом** варианте она оптимизирована, в **расширенном** – регулируемая в пределах 60–160 кА/сек.

Скорость уменьшения выходного тока после отрыва капли не регулируется и составляет 180 кА/сек.

12. Функция запоминания текущих параметров сварки.

При выключении питания все текущие значения выходных параметров сохраняются в памяти текущего режима работы (ММА, TIG или MIG/MAG). При включении аппарата загружаются параметры последнего режима сварки.

13. Функция автоматического переключения режимов работы.

При нажатии кнопки на горелке MIG/MAG аппарат автоматически переключается в режим MIG/MAG, при нажатии кнопки на горелке TIG – в режим TIG.

14. Контактный поджиг дуги в режиме TIG с использованием кнопки на горелке.

Эта функция обеспечивает щадящий поджиг дуги на токе "дежурной дуги" до момента

отпускания кнопки (см. п.п. 7, 8). Причем при нажатии на кнопку горелки перед началом сварки на выходе аппарата остается безопасное напряжение 4...5 В (см. также п.16).

15. Контактный поджиг дуги в режиме TIG без использования кнопки на горелке.

Если аппарат переведен в режим TIG кнопкой на передней панели, включить силовой преобразователь можно не только кнопкой на горелке, но и сделав короткое замыкание на выходе. В этом случае в начальный момент времени выходной ток будет равен току дежурной дуги и сразу начнет нарастать за время нарастания тока дуги (см. п. 8) до номинального значения. Если нажать кнопку на горелке TIG, поджиг дуги контактным способом без использования кнопки на горелке становится невозможным, и аппарат управляется от кнопки в соответствии с описанием, приведенным в п. 14.

16. Функция ограничения напряжения холостого хода на безопасном уровне.

Применяется только в режимах MMA в аппаратах, изготовленных по отдельному заказу.

Если выходное напряжение аппарата превышает 50 В в течение не более 0,6 сек после окончания сварки, то силовой преобразователь отключается, и на выходе аппарата остается напряжение от 4 до 6 В. Потребляемая мощность аппарата в этом режиме не превышает 15 Вт. Включение выключенного преобразователя произойдет, если производится касание электродом свариваемой детали или сопротивление цепи, подключенной к выходным зажимам, будет менее 100 Ом.

В аппарате предусмотрена возможность отключения режима ограничения выходного напряжения с помощью технологической перемычки на плате.

17. Импульсный режим

Отсутствует в **базовой** модификации. Предназначен для работы короткими швами (в режимах "MMA" и "TIG"), позволяет регулировать длительность импульса и паузы от 0,05 до 2 сек и ток паузы – от минимального до установленного значения.

18. Функция записи пользовательских программ

Функция доступна только для **расширенной** модификации. Память программ рассчитана на хранение 72 пользовательских программ (по 24 программы для каждого из режимов MMA, TIG и MIG/MAG). При этом в памяти хранится информация обо всех параметрах, которые могут устанавливаться в текущем режиме.

19. Функция защиты от прокаливания электрода ("AntiStick").

Применяется только в режиме MMA. Если с момента начала короткого замыкания для инициирования электрической дуги его длительность превышает 1 сек, силовой преобразователь выключается. Повторное включение возможно только после устранения короткого замыкания.

20. Выключение аппарата при длительном КЗ сварочной цепи

Если в процессе горения дуги происходит короткое замыкание длительностью более 3 сек, силовой преобразователь выключается. Повторное включение возможно только после устранения короткого замыкания.

21. Защита аппарата от включения при КЗ сварочной цепи

Если при включении питания сварочного аппарата выходные клеммы оказываются замкнутыми, силовой преобразователь не включится. Включение возможно только после устранения короткого замыкания.

22. Защита от перегрузки по току силовых транзисторов

В аппарате предусмотрена триггерная защита по мгновенному току силовых транзисторов. Выход из режима защиты от перегрузки возможен только путем выключения и повторного включения аппарата.

23. Защита от перегрева

Контролируется температура радиатора транзисторов преобразователя и силового трансформатора. Преобразователь выключается, если температура одного из радиаторов превысит 85°C или температура трансформатора превысит 100°C. Включение

преобразователя возможно, если температура радиаторов станет менее 55°C, а трансформатора 70°C.

24. Монитор питания

В аппарате предусмотрена защита от аварийных отклонений питающего напряжения за пределы допустимого диапазона, автоматически выключающая силовой преобразователь с возможностью его отключения от сети питания.

Если напряжение питающей сети превышает 265 В (фазное), силовой преобразователь отключается, и его питание размыкается. Если входное напряжение опускается ниже 170 В или отсутствует одна из фаз электросети, силовой преобразователь также отключается.

Силовой преобразователь аппарата включается автоматически в течение не более 3 сек после возвращения напряжения сети в допустимый диапазон.

25. Идентификация и индикация ошибок

При срабатывании термозащиты на индикатор выводится надпись "Er.1" или "Er.3" (в зависимости от номера термистора) и текущее значение температуры горячего элемента, нагрев которого вызвал срабатывание защиты.

При завышенном напряжении питающей сети индицируются надписи "Er.5" и "НАП", при заниженном – "Er.4" и "НАП".

При срабатывании защиты от перегрузки силовых транзисторов в зависимости от причины, его вызвавшей, индикаторы показывают "Er.6", "Er.7", "Er.8" или "Er.9".

26. Аналоговое дистанционное управление.

Аналоговое ДУ позволяет управлять выходным током (режимы MMA, TIG) или напряжением (MIG/MAG) при помощи переменного резистора (сопротивлением 1...50 кОм) или непосредственно уровнем постоянного напряжения 0...5,0 В. Максимальная длина линии связи – 40 м.

27. Функция "вентиляторы по необходимости"

В аппарате для охлаждения термонапряженных элементов предусмотрено два вентилятора, один из которых включается при нагреве радиатора транзисторов до 45°C, а выключается – при 35°C. Второй вентилятор работает по аналогичному алгоритму для охлаждения силового трансформатора, чем обеспечивается минимум грязи внутри источника и простое по сервису.

28. Функция запоминания и индикации текущего режима сварки

По окончании сварки при нажатии на регулятор сварочного тока высвечиваются усредненные значения тока и напряжения на дуге, измеренные не позднее, чем за 4 сек до прерывания процесса сварки.

29. Функция включения/выключения аппарата обеспечивается с помощью тумблера на лицевой панели и входного сетевого автомата.

30. Работа от автономных передвижных источников электропитания

Аппараты допускают возможность работы от автономных генераторов мощностью не менее 30 кВА со стабилизацией выходного напряжения.

31. Коррекция заводских настроек дополнительных параметров аппаратов базовой модификации под конкретные требования заказчика производится путем замены базовой панели управления на **расширенную**. Новые настройки сохраняются в ячейке памяти для выбранного режима работы (MMA, TIG, MIG/MAG).

Процесс модернизации, направленный на обновление и расширение товарного ассортимента сварочного оборудования ФОРСАЖ в соответствии с требованиями современного рынка, продолжается. Своими достижениями предприятие во многом обязано тесным контактам с главными сварщиками различных предприятий, с торговыми фирмами, работающими в сфере сварочного оборудования. Мы выражаем свою благодарность всем нашим партнерам за участие в процессе создания конкурентоспособных российских сварочных аппаратов. Лучшая оценка высоких потребительских характеристик сварочного оборудования ФОРСАЖ от Государственного Рязанского приборного завода – его растущая

востребованность в России и странах СНГ, расширяющаяся дилерская сеть и сеть центров сервисного обслуживания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бирюков А.П., Голованчиков А.А., Ковергин П.В., Никитин С.В.* Сварочный аппарат инверторного типа "Форсаж-200" // Сварочное производство. 2010. № 2. С. 40–42.

2. *Бардин А.И., Романов А.В., Джаникян А.В., Бирюков А.П., Ковергин П.В.* Новая серия промышленных сварочных аппаратов "Форсаж" // Сварочное производство. 2011. №2. С. 24–28.

3. *Никитин С.В., Бардин А.И., Бирюков А.П., Голованчиков А.А., Ковергин П.В.* Инверторный сварочный аппарат ФОРСАЖ-161 – новое слово в сварке // Сварочное производство. 2011. №5. С. 41-43.

4. *Бардин А.И., Никитин С.В., Романов А.В., Джаникян А.В., Бирюков А.П.* Однофазный сварочный инвертор ФОРСАЖ-200М // Сварочное производство. 2011. №9.