



УДК 629.128:62-529

А.Н. Винцов, инженер-технолог АО «Судостроительный завод «Вымпел» (г. Рыбинск),
Е.Г. Бурмистров, д.т.н., профессор, профессор кафедры ПиТПС ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
603951, г. Н.Новгород, ул. Нестерова, д.5

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МАШИН ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ И НАУЧНАЯ ОСНОВА ОПТИМИЗАЦИИ ИХ ВЫБОРА

Ключевые слова: машина тепловой резки; оптимизация выбора.

Сравниваются наиболее широко представленные на отечественном и мировом рынках машины плазменной тепловой резки. Излагаются общие положения методики оптимизации выбора машин тепловой резки на этапе, предворяющем их приобретение.

В современных быстроизменяющихся условиях важно грамотно оценить ситуацию и подстроиться под складывающуюся конъюнктуру. Это в полной мере относится и к судостроительным предприятиям. Однако на практике этого добиться чрезвычайно сложно ввиду известной инертности производства, уже сложившихся предпочтений в области применяемых технологий, оборудования, форм организации труда и т.д. Поэтому для предприятий важно уже на этапе выбора основного технологического оборудования чётко не только понимать варианты его текущей загрузки, но и представлять возможные варианты его загрузки на перспективу в связи с неизбежными изменениями номенклатуры и объёмов выпускаемой продукции. Отмеченное имеет непосредственное отношение к сегменту обработки корпусного металла, в особенности к оборудованию для термической резки листового проката.

В настоящей статье авторами сделана попытка аналитического обзора сложившегося брендового ряда машин для плазменной резки листов, которым отдают предпочтения, как на отечественных, так и на ведущих зарубежных верфях. Кроме того, высказываются некоторые соображения относительно общих подходов к оптимизации выбора таких машин.

Для проведения сравнительного анализа рассмотрим несколько моделей современного ряда импортного и российского оборудования различных производителей.

Среди отечественного оборудования наибольшее распространение получили машины термической резки (МТР) «Кристалл» (ПКФ «Кристалл», г. Санкт-Петербург), «РИТМ» (ЦТСС, г. Санкт-Петербург) и «Термит» (ТМС «Техмонтажсистем», г. Тверь). Они обеспечивают приемлемое качество вырезаемых деталей (соответствует ГОСТ 14792-80). Кроме того, сегодня им отдаётся предпочтение и по причине действующей программы импортозамещения. МТР отечественного производства не требуют растаможивания, более экономичны при транспортировке, весьма привлекательны по стоимости [2]. Для автоматизированной подготовки управляющих программ и решения задач оптимального раскроя листа могут использоваться российские программные продукты «Ритм-судно» (ОА ЦТСС), «Техтран» (НИП–Информатика), а также программные продукты других производителей. Указанными производителями выпускаются МТР различных исполнений и модификаций, а также различная

технологическая оснастка: секционированные раскройные столы (в т.ч. для обработки крупногабаритного листового проката) и фильтровентиляционные установки запатентованной конструкции с рекуперацией воздуха, сохраняющей тепловой баланс цеха и т.д.

На российском оборудовании используется одна направляющая по координате Y. Для фигурной резки на направляющей устанавливаются 3-и каретки, на каждой из которых размещается один держатель крепления резака в рабочем положении. На двух каретках устанавливаются плазмотроны TD-300 с жидкостным охлаждением. Третья каретка предназначена для установки кислородного резака HARRIS и снабжена устройством поджига кислородного резака. Привод перемещения по координате Y осуществлён с помощью передачи «рейка – шестерня» на приводную ленту [3].

Резка со снятием фаски на машинах отечественных марок представлена, но далеко не на всех. Для фигурной резки, как было сказано выше, устанавливается две и более каретки.

Следует отметить, что качеству обработки и экологическим нормам российское оборудование всё ещё несколько уступает зарубежным аналогам.

Газоплазменные станки, разработанные фирмой Ajan Electronic (г. Измир, Турция) соответствуют Европейским требованиям по безопасности. Процесс плазменной резки полностью автоматизирован, достигается достаточно высокая скорость резки металла даже при довольно большой его толщине. При этом почти полностью исключается вероятность деформирования листов под действием высокой температуры. После раскроя детали соответствуют ISO, кромкировные, без шлака. При установке ПО, разработанного фирмой Ajan специально для этой машины, существенно повышается производительность резки. Кроме того, МТР «Ajan» оснащены одной из лучших в своём классе систем управления, а конструкция машины рассчитана на тяжёлые эксплуатационные условия с загрузкой в 2 – 3 смены [4].

При адаптации МТР под определённый тип производства необходимо учитывать реальные и перспективные потребности производства и, исходя из этого, выбирать необходимый набор функций, используемый в дальнейшем при работе.

К этим функциям могут относиться: автоматическое регулирование давления газа и воздуха, автоматический выбор параметров при задании силы тока и толщины материала, автоматический контроль высоты резака, возможность установки до 4-х кареток (с плазменным и газовым резаками и с независимым управлением по высоте), либо различное их сочетание, возможность размещения на одном суппорте 2-х резаков (плазменного и газокислородного), магнитное крепление резаков, обеспечивающее быструю их смену и предотвращающее повреждение резака при ударе, возможность быстрого перехода из одного рабочего диапазона – 2×260 А в другой – 1×460 А в автоматическом режиме при использовании 2-х плазменных резаков, что обеспечивает увеличение производительности и возможность резки даже нержавеющей стали толщиной до 150 мм, возможность использования по всем осям машины (X_1, X_2, Y, Z) серводвигателей, возможность одновременной маркировки деталей плазменной дугой, возможность не параллельного оси станка расположения листового проката на раскройном столе.

У МТР «Ajan» имеются и недостатки, которые также необходимо учитывать при выборе в пользу данного оборудования. К ним, в частности, относятся следующие: производительность газовой резки значительно уступает плазменной; газ не подходит для резки нержавеющей стали и алюминия; высокая чувствительность к примесям в металле и др.

Высокопроизводительные машины TELEREX™ шведской промышленной компании ESAB одни из самых покупаемых и пользующихся спросом в мире МТР. На этих МТР установлены непрерывно вращающиеся агрегаты плазменного скашивания кромок, полностью автоматизированные трёхрезаковые агрегаты для режима

газокислородной резки, инструменты разметки в разнообразном исполнении и встроенные фильтры для отсоса вредных газов.

Из преимуществ TELEREX™ можно выделить следующие [5]:

- машины могут использоваться для плазменной, газокислородной, либо комбинированной резки металлов;
- возможность обработки крупногабаритного листового металла шириной до 3,0 м;
- многовариантность возможных компоновочных схем исходя из требований конкретного потребителя.

AMG – крупная компания, поставляющая на рынок в основном оборудование Южно-Корейского и китайского производства: SMEC (Ю.Корея) и SKYMASTER (Китай), а также небольшие объёмы оборудования из Германии (SPINNERWerkzeugmaschinenfabrik, Германия). Китайское оборудование, поставляемое компанией AMG, достаточно широко представлено и на российском рынке благодаря относительно низкой стоимости, однако его качество оставляет желать лучшего. В частности, имеются проблемы со стабильностью плазменной дуги, а также наличие сильных помех при генерации среды в плазменном резке [1]. В целом, достоинства и недостатки МТР, поставляемого компанией AMG повторяют уже отмеченные для МТР «Ajan» и TELEREX™ [6].

Широко на отечественном рынке представлены и МТР под брендом «Hypertherm» (США). Машины «Hypertherm» обладают преимущественными показателями по скорости выполнения операций, точности и качеству вырезанных деталей. Однако и себестоимость получаемых деталей в 2 – 3 раза выше по сравнению с обеспечиваемой конкурирующими российскими, китайскими, турецкими установками.

Характерной особенностью всей линейки МТР «Hypertherm» является внедрение большого количества защищённых патентов. Так последние полученные патенты на систему HyperthermHyperformance XPR300(X-Definition) на высокое качество резки позволяют повысить скорость разрезаемого материала, сократив, при этом, эксплуатационные расходы более чем на 50% и на 25-30% увеличив производительность. Кроме того, оптимизированные эксплуатационные характеристики этой системы сводят к минимуму необходимость вмешательства оператора и обеспечивают высокую надёжность МТР.

К преимуществам данных машин причисляются высокое качество реза и стабильные результаты резки для низкоуглеродистых сталей в широком диапазоне толщин [7].

Все показатели оценки качества деталей и резки для малых толщин находятся в пределе 2 согласно Европейскому стандарту качества ISO.

Для расширенного диапазона 3 при любой толщине металла также наблюдается высокое качество резки по сравнению с ранее использовавшимися технологиями плазменной резки.

Относительно нержавеющей сталей можно сказать, что машина даёт качественный рез во всем диапазоне толщин.

На некоторых машинах при резке алюминия используется процесс Vented water injection (VWI) – дополнительный впрыск воды для большей экологичности процесса резки.

Для более наглядного сравнения МТР, их основные характеристики сведены в таблицу 1.

Анализ табл. 1, а также изложенного выше материала подтверждает актуальность задачи оптимизации выбора МТР ввиду весьма близких значений их основных технических характеристик. При этом оптимальное решение должно входить в группу допустимых решений, которые удовлетворяют всем установленным ограничениям. Однако, для постановки оптимизационной задачи предварительно должны быть решены

два вопроса: выбран критерий оптимальности и определён оптимизируемый параметр объекта оптимизации.

В качестве критерия оптимальности можно использовать любой из экономических показателей: годовой экономический эффект, удельные затраты на единицу продукции, приведённые затраты и т.п. А вот в качестве оптимизируемого параметра может быть принят только какой-либо технический показатель. Причём этот показатель должен иметь аналитическую или аппроксимационную взаимозависимость с экономическими показателями. В той или иной степени этому требованию может удовлетворять коэффициент производительности оборудования K_{Π} , так как известны (даже две) корреляционные зависимости K_{Π} от стоимости оборудования:

- в виде прямой линии

$$\Pi = bK_{\Pi} + c ; \quad 1)$$

- в виде параболы второй степени

$$\Pi = aK_{\Pi}^2 + bK_{\Pi} + c , \quad 2)$$

где a, b, c – коэффициенты функциональных зависимостей.

Таблица 1 – Основные технические характеристики наиболее распространённых МТР

Наименование/марка МТР	РИТМ	Ajan	ESAB	AMG	Hypertherm
Мощность	не более 20 кВт	приблиз. 20 кВт	до 20 кВт	до 20 кВт	63 кВт
Габариты, м×м×м	2,5х13х2,5	4х20х3	5х20х3	2,5х13х2	3х15х3
Масса, кг	4000	4000	до 8000	от 3000 до 4000	от 4500 до 5000
Стоимость, млн. руб.	11 млн. руб.	10 млн. руб.	до 18 млн. руб.	8-9 млн. руб.	15-16 млн. руб.
Скорость резки, мм/мин.	до 9000	9800	50-19000	30-9000	до 9000
Ширина стола, м×м	от 2,5 до 5 м	от 1,5 до 6 м	любой требуемый размер	min 1,55 м; max 11 м	от 1,5 м
Толщина пробиваемого материала, мм	от 1 до 100 мм газ от 5 до 200 мм	от 0,8 до 100 мм газ от 3 до 200 мм	max 60 мм газ 200/300	25 мм газ От 5 до 200 мм	сталь 80 мм нерж. 75 мм алюминий 50 мм
Рабочий материал	низкоуглеродистая сталь, нержавеяка, цветной металл	низкоуглеродистая сталь, нержавеяка, титан, цветной металл и пр. ст.	низкоуглеродистая сталь, нержавеяка, цветной металл	низкоуглеродистая сталь, нержавеяка, цветной металл	низкоуглеродистая сталь, нержавеяка, цветной металл, титан
Система управления	ЧПУ	ЧПУ	ЧПУ	ЧПУ	ЧПУ

Целевая функция для зависимости первого вида имеет вид:

$$\Theta_{\Gamma} = qK_{\Pi} + gK_{\Pi}^{-1} + uA + v, \quad (3)$$

где A – годовая программа резки деталей на МТР;

q, g, u, v – коэффициенты целевой функции, постоянные для данного типа МТР.

$$q = -\alpha\gamma b(E_{\text{н}} + h_{\text{д}});$$

$$g = -t_{\text{о.п}}(S + S_{\text{з}});$$

$$u = -t_{\text{о.с}}(S + S_{\text{з}})K_{\Pi 0}^{-1}; \quad (4)$$

$$v = -\alpha\gamma c(E_{\text{н}} + h_{\text{д}}),$$

где α – коэффициент, учитывающий дополнительные затраты, связанные с освоением данной МТР; γ – коэффициент, учитывающий использование данной МТР в других технологических процессах (учитывается только в случае использования данной МТР в других техпроцессах);

$t_{\text{о.с}}$ – базовая (исходная) трудоёмкость, приходящаяся на механизированную и ручную работу при выполнении её базовым способом в исходной технологии, чел. ч.;

$t_{\text{о.п}}$ – базовая (исходная) трудоёмкость, приходящаяся на механизированную работу при выполнении её базовым способом в рекомендуемой технологии, чел. ч.;

$K_{\Pi 0}$ – коэффициент производительности существующей (базовой) МТР;

S – удельная годовая прибыль в сфере эксплуатации после внедрения новой МТР, руб./чел. ч.;

$S_{\text{з}}$ – удельная дополнительная годовая прибыль в сфере эксплуатации после внедрения новой МТР, руб./чел. ч.;

$E_{\text{н}}$ – нормативный коэффициент эффективности дополнительных капитальных вложений на новую МТР;

$h_{\text{д}}$ – безразмерный коэффициент, учитывающий норматив дополнительных эксплуатационных расходов.

Целевая функция для зависимости второго вида имеет вид:

$$\Theta_{\Gamma} = pK_{\Pi}^2 + qK_{\Pi} + gK_{\Pi}^{-1} + uA + v, \quad (5)$$

где p – коэффициент целевой функции, постоянный для данного типа МТР.

$$p = -\alpha\gamma a(E_{\text{н}} + h_{\text{д}}). \quad (6)$$

Целевые функции (3) и (5) при двух независимых переменных, например K_{Π} и A , графически можно представить в виде гиперболического параболоида [8] (см. рис. 1).

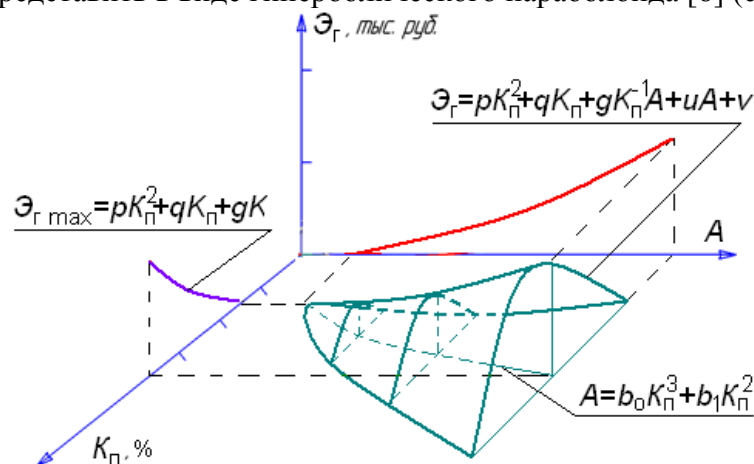


Рис. 1 – Графическое изображение целевой функции для оптимизации МТР по коэффициенту K_{Π}

Для сравнения, приведённых в статье МТР, можно использовать график зависимости в координатах V_p и P . Он приведён на рис. 2.

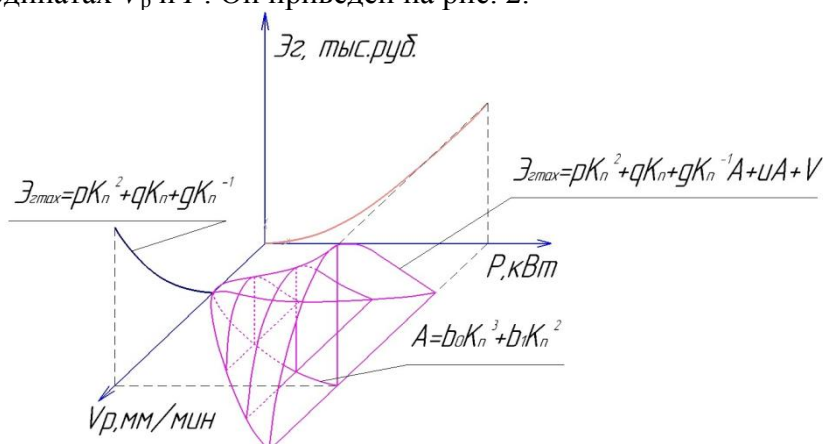


Рис. 2 – Графическое изображение целевой функции в координатах V_p и P

Изложенный подход к оптимизации выбора МТР позволяет определить максимальные значения годового экономического эффекта от эксплуатации МТР, а также предельные значения возможной загрузки МТР и на основании этих данных сделать обоснованный выбор в пользу той или иной марки МТР.

Список литературы:

- [1]. Резка и сварка металла: плазмой, лазером и прочими способами [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://plazmen.ru/>, свободный.
- [2]. АО «Центр технологии судостроения и судоремонта» ОАО «ЦТСС» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://sstc.spb.ru/>, свободный.
- [3]. ПКФ «Кристалл – производство машин термической резки металла и сварочного оборудования» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://crystall.ru/>, свободный.
- [4]. Установки плазменной резки от компании Ажан – купить в Москве [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ajan.ru/>, свободный.
- [5]. ESABRussia [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://esab.ru/>, свободный.
- [6]. Главная страница / ООО «Компания «АМГ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.amg-rus.ru/>, свободный.
- [7]. Каталог / Центр сварки – официальный дилер, авторизованный дистрибьютер [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.hypertherm.com/>, свободный.
- [8]. Баженов, Н.Д. Оптимизация технологических процессов судостроительно-судоремонтного производства : консп. лекц. / Н.Д. Баженов ; Под ред. д.т.н., проф. Ю.Г. Кулика. – Горький, 1989. 55 с.
- [9]. Научно-технический журнал «SVETSAREN» '05 №1.
- [10]. Научно-технический журнал «SVARCOM» о сварке и плазменной резке.
- [11]. Научно-технический журнал «Фотоника» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://fotonics.su/>.
- [12]. Главная / УП «Инстэл» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://instel.by/>, свободный.

COMPARATIVE ANALYSIS OF MODERN MACHINES PLASMA CUTTING AND SCIENTIFIC BASIS FOR OPTIMIZATION OF THEIR CHOICE

A.N. Vintsiv, E.G. Burmistrov

Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов

Секция II Вопросы развития и совершенствования флота

Keywords: heat cutting machine; optimization of choice.

The most widely presented in the domestic and world markets plasma heat cutting machines are compared. General provisions of a technique of optimization of a choice of machines of thermal cutting at the stage, preliminary their acquisition are stated.