



دانشگاه صنعتی شریف

معاونت پژوهشی

پیشنهاد فنی و مالی

طراحی و ساخت ربات بازرسی لوله

(ویرایش اول)

مجری: دانشگاه صنعتی شریف

بهار ۱۴۰۱

فهرست

- ۱- مقدمه ۲
- ۲- موضوع پیشنهاد و محدوده کاری ۲
- ۳- مشخصات فنی ربات ۳
 - ۱-۱-۳- ربات بازرس ۵
 - ۲-۱-۳- کابل جمع کن ۶
 - ۱-۱-۳- سیستم کنترلی ۷
- ۴- مدارک فنی نهایی ۷
- ۵- آموزش سیستم ۸
- ۶- روش انجام پروژه ۸
- ۷- تحویل و گارانتی ۸
- ۸- زمان بندی اجرای پروژه ۹
- ۹- پیشنهاد مالی ۱۰
- ۱۰- شرایط پرداخت ۱۰

۱- مقدمه

تاسیسات مختلف مانند خطوط تامین سوخت، گاز یا نفت و نیروگاه‌های تولید برق مانند نیروگاه‌های هسته‌ای و حرارتی از شبکه گسترده‌ای از خطوط لوله برای انتقال سیالات مختلف تشکیل شده‌اند. این خطوط لوله به دلیل انواع بارهای استاتیکی و دینامیکی ناشی از عوامل داخلی و خارجی لوله و همچنین به دلیل فرآیندهای طبیعی مانند اکسیداسیون، خوردگی سطح لوله و خرابی اتصالات ناشی از آن، عمر محدودی دارند. بازرسی خوردگی سطوح داخلی لوله‌ها معمولاً به روش‌های زیر صورت می‌گیرد:

- بازرسی به صورت چشمی یا با استفاده از تجهیزات مختلف مانند ربات در لوله‌هایی که امکان ورود انسان وجود ندارد.

- بازرسی خارجی و یا داخلی با استفاده از پراب‌های اندازه‌گیری ضخامت

بازرسی دوره‌ای خطوط لوله برای افزایش طول عمر لوله‌ها و جلوگیری از وقوع حادثه توصیه می‌شود. از آنجایی که امکان پایش وضعیت با استفاده از مجموعه‌ای از سنسورها در لوله‌ها امکان پذیر نمی‌باشد، از ربات‌های بازرسی برای پایش دوره‌ای لوله‌ها استفاده می‌شود. این ربات‌ها با ورود به لوله، با استفاده از تجهیزات مختلف، مانند دوربین‌های تصویربرداری و سنسورهای ضخامت‌سنج، وضعیت داخلی لوله‌ها را پایش می‌کند. این مجموعه تا به حال فعالیت‌های موفق متنوعی در زمینه‌های صنعتی و رباتیک داشته است. از جمله پروژه‌های موفق این مجموعه در حوزه ربات‌های بازرسی، می‌توان به مدیریت طراحی و ساخت ربات بازرسی بدنه کشتی اشاره نمود. این ربات با اتصال به بدنه کشتی‌ها با استفاده از شنی مغناطیسی طراحی شده، به بازرسی آن می‌پردازد. اپراتور در این ربات با استفاده از پنل کنترلی ارائه شده، ربات را هدایت می‌کند و به کمک دوربین نصب شده روی آن، به بازرسی بدنه کشتی می‌پردازد.

این پیشنهاد برای طراحی و ساخت ربات بازرسی خطوط لوله نیروگاه تهیه و ارائه شده است.

۲- موضوع پیشنهاد و محدوده کاری

پیشنهاد حاضر برای طراحی و ساخت ربات بازرسی خطوط لوله نیروگاه تهیه و تنظیم شده است. به درخواست کارفرما، ربات باید توانایی حرکت در لوله‌هایی به قطر ۳۰۰ تا ۹۰۰ میلیمتر و قابلیت حرکت عمودی تا ارتفاع ۱۰ متر را داشته باشد. این ربات با تصویربرداری از سطوح داخلی لوله، شرایط بازرسی لوله را برای مهندسین نیروگاه فراهم می‌کند.

۳- مشخصات فنی ربات

مشخصات فنی ربات به شرح زیر می باشد:

جدول ۱ مشخصات فنی ربات

Ref.	Parameter	Specification
1	Minimum Pipe Diameter (D)	300 mm
2	Maximum Pipe Diameter (D)	900 mm
3	Minimum Tube Bend	$2 \times D$
4	Maximum Speed	4 m/min
5	Power Supply	230 VAC/24 VDC
6	Body Material	Aluminum
7	Ambient	Temperature: 0 – 50 °C Humidity: Less than 90%
8	Camera	Resolution: 2560×1440 pixels, 25 fps Optical/Digital Zoom: 25x/16x Movement Range: 360° Pan, -15° to 90° Tilt IP66
9	Lighting System	20 watt LED
10	Vertical Travel	10 m
11	Maximum Pipe Length	350 m

12	Control Panel	10" Portable Touch Control Panel, With Operational Pushbuttons
13	Control Panel – Robot Connection	Power Cable and Optical Fiber Cable with Supporting Wire Rope

ربات با استفاده از مکانیزم ۶ پایه به کمک نیروی فنر به دیواره چسبیده و موقعیت خود را در لوله حفظ خواهد کرد. به کمک نیروی چسبندگی موجود بین چرخ و دیواره، ربات توانایی حرکت در لوله‌های عمودی را نیز داراست. شکل ۱ دو ربات با مکانیزم مشابه ربات مدنظر را نشان می‌دهد.

با توجه به بازه گسترده قطر لوله (۳۰۰ تا ۹۰۰ میلیمتر)، این ربات به همراه افزونه‌هایی^۱ برای پشتیبانی کامل این بازه ارائه خواهد شد. با استفاده از این افزونه‌ها و ایجاد تغییرات جزئی در ربات، می‌توان از آن در لوله‌هایی با قطر مختلف استفاده نمود.



ب



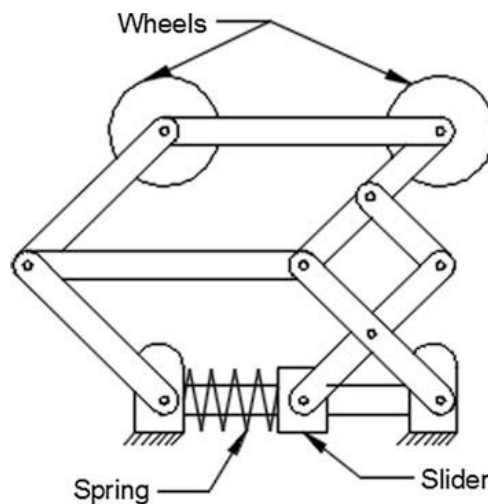
آ

شکل ۱ (آ) ربات بازرسی لوله شرکت Jetty (ب) ربات بازرسی لوله شرکت nexxis

^۱ extensions

۱-۳-۱- ربات بازرس

با توجه به شرایط لوله و وجود رسوب و آلودگی‌های سطحی لوله‌ها، امکان استفاده از نیروی مغناطیسی برای چسبیدن به جداره لوله و حرکت در مسیرهای عمودی مناسب نمی‌باشد. از این رو، با بررسی‌های انجام شده روی ربات‌های بازرسی موجود، ربات‌های چند پایه پیشنهاد می‌شود. با باز شدن پایه‌ها و اعمال نیروی روی بدنه لوله، به جداره لوله چسبیده و به کمک چرخ‌ها یا شنی طراحی شده، درون لوله حرکت می‌کند. فنر علاوه بر تامین نیروی لازم عمودی برای چسبندگی به لوله، انعطاف‌پذیری لازم را برای عبور از موانع موجود در لوله را می‌دهد. در شکل ۲ شماتیک این مکانیزم نمایش داده شده است.



شکل ۲ شماتیک مکانیزم فنری مورد نظر

لیست تجهیزات در نظر گرفته شده برای ربات، به شرح زیر می‌باشد:

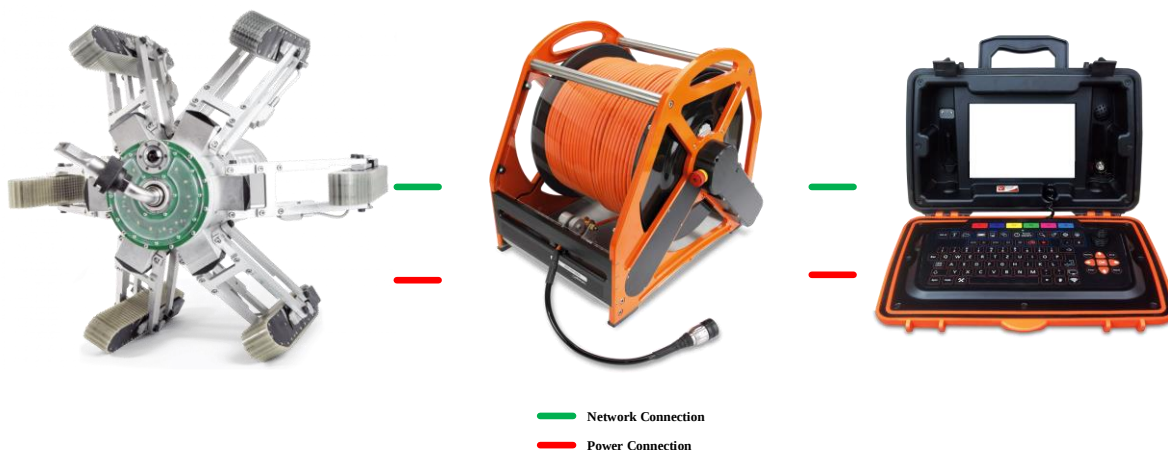
جدول ۲ لیست تجهیزات ربات بازرس

No.	Part	Qty	Brand
1	Motor + Gearbox + Encoder + Controller	6 sets	Maxon, Dynamixel or Equivalent Brands
2	Brake	6	Maxon, Dynamixel or Equivalent Brands
3	Track Belt Mechanism	6 sets	Our Team Design
4	Diameter Change Mechanism Actuator	1	Maxon, Dynamixel or Equivalent Brands
5	PTZ Camera	1	Hik Vision, Dahua or Equivalent Brands
6	Lighting System	1 set	CREE, BridgeLux, Phillips
7	Controller Board	1 set	openCR, Raspberry Pie or Equivalent Brands
8	Power Supply	1	Omron, Phoenix Contact or Equivalent Brands
9	Emergency Battery	1 set	-
10	Connection System	1 set	European Brands

۲-۱-۳- کابل جمع‌کن

امکان اتصال از طریق امواج بی‌سیم در لوله‌های فلزی در طول‌های بیشتر از ۳۰ متر با مشکل مواجه می‌شود و توصیه نمی‌شود. از این رو، اتصال کابلی برای این ربات در نظر گرفته شده است. در این اتصال کابل انتقال داده برای دریافت تصویر دوربین و اطلاعات مربوط به شرایط ربات و کابل تامین توان و ارسال فرامین مهم کنترلی به صورت مستقیم در نظر گرفته شده است. این مجموعه به صورت یکپارچه با یک رشته سیم بکسل، برای جلوگیری از ایجاد کشش در کابل‌ها و همچنین نجات ربات در صورت مختل شدن عملکرد ربات و گیر کردن در لوله، روی یک سیستم کابل جمع‌کن^۱، پیچیده می‌شود. مکانیزم کابل جمع‌کن، با توجه به نوع کابل‌های لازم و سرعت ربات، طراحی و ساخته می‌شود. این تجهیز، به صورت خودکار کابل را باز و بسته می‌کند.

برای انتقال داده‌ها تا طول ۱۰۰ متر امکان استفاده از کابل‌های شبکه Cat5E وجود دارد اما پیرو درخواست کارفرما طول لوله‌های تحت تست ۶۰۰ متر می‌باشد. بدین منظور از کابل فیبر نوری انعطاف‌پذیر استفاده می‌شود تا اتصال پایدار و مناسب بین ربات و پنل کنترلی در مسیرهای طولانی برقرار گردد. با توجه به جلسه فنی برگزار شده بین این مجموعه و عوامل نیروگاه، امکان ورود ربات از دو سمت مسیر لوله وجود دارد، از این رو، نصف مسیر از یک سمت و نصف دیگر از سمت مقابل بازرسی خواهد شد. بنابراین طول کابل ربات، ۳۵۰ متر در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که بتوان ربات را در مسیرهای ۱۰۰ متری قرار داد، می‌توان از کابل‌های شبکه Cat5E انعطاف‌پذیر استفاده نمود. لازمه این امر، وجود ورودی برای ربات در فواصل ۱۰۰ متری می‌باشد.



شکل ۳ اجزای مختلف سیستم بازرسی مشابه: پنل کنترلی، سیستم کابل جمع‌کن و ربات بازرسی (از راست به چپ)

^۱ Cable Reel

لیست تجهیزات در نظر گرفته شده برای سیستم کابل جمع کن، به شرح زیر می باشد:

جدول ۳ لیست تجهیزات کابل جمع کن خودکار

No.	Part	Qty	Brand
1	Motor + Gearbox + Encoder + Controller	1 set	Maxon, Dynamixel or Equivalent Brands
2	Brake	1	Maxon, Dynamixel or Equivalent Brands
3	Connection System	1 set	European Brands
4	Optical Fiber	350 m	igus or Equivalent Brands
5	Power Cable	350 m	igus or Equivalent Brands
6	Drum	1 set	Our Design

۱-۱-۳- سیستم کنترلی

یک ایستگاه کنترلی قابل حمل، شامل صفحه نمایش لمسی برای نمایش تصویر دوربین و وضعیت ربات، دكمه های کنترلی برای کنترل ربات و تجهیزات شبکه، حفاظتی و برق رسانی ربات در نظر گرفته شده است. این ایستگاه با استفاده از سیستم کابل جمع کن به ربات متصل می گردد. رابط کاربری مناسب با نیاز اپراتور طراحی و پیاده سازی خواهد شد. این پنل کنترلی شامل موارد زیر می باشد:

جدول ۴ لیست تجهیزات پنل کنترلی

No.	Part	Qty	Brand
1	Touch Control Panel	1	Asus, Microsoft, Siemens or Equivalent Brands
2	Keys and Push Buttons	1 Set	Schneider Electric, Eaton or Equivalent Brands
3	Power Supply	1	Omron, Phoenix Contact or Equivalent Brands
4	Power Protection Devices	1 Set	Schneider Electric, Schrack or Equivalent Brands
5	Connection System	1 set	European Brands
6	Control Panel Box	1	Our Design

ربات به وسیله برد کنترلی نصب شده روی آن کنترل می شود. این برد با جمع آوری اطلاعات از سنسورهای نصب شده و دریافت فرامین از پنل کنترلی، فرمان لازم را به عملگرها اعلام می کند. همچنین، در صورت قطع ارتباط شبکه بین ربات و پنل کنترلی، فرامین لازم برای خروج خودکار ربات از لوله را صادر می کند.

۴- مدارک فنی نهایی

مدارک زیر در انتهای پروژه تحویل کارفرما خواهد شد:

۱- نقشه ساختار کلی سیستم کنترل (System Configuration)

۲- Part List

۳- مدارک و مستندات مربوط به Calibration Sheet و کاتالوگ و Datasheet تجهیزات ابزار دقیق

۴- کتابچه دستورالعمل‌های بهره‌برداری و نگهداری (Operation & Maintenance Manual)

۵- کتابچه دستورالعمل‌های حمل و نقل، انبارداری، نصب و راه‌اندازی.

لیست مدارک نهایی، در شروع پروژه، طی یک مدرک فیما بین طرفین نهایی خواهد شد و مدارک جانبی نیز به آن اضافه خواهد شد.

*کلیه حقوق معنوی و مادی تجهیزات ابتکاری و نوآورانه موجود در پروژه، متعلق به مرکز طراحی سیستم و اتوماسیون دورعلی و دانشگاه صنعتی شریف خواهد بود.

۵- آموزش سیستم

پس از تکمیل ربات و انجام تست‌های لازم بر روی آن، کتابچه دستورالعمل‌های لازم برای آن تهیه و ارائه کارفرما خواهد شد. همچنین در طی یک جلسه، نحوه کار با دستگاه در محل مجری، به نمایندگان کارفرما آموزش داده می‌شود. همچنین در اولین بهره‌برداری از ربات، نمایندگان مجری بر فرآیند بهره‌برداری نظارت خواهند داشت تا در صورت وجود بروز مشکل احتمالی، به رفع آن بپردازند.

۶- روش انجام پروژه

شرح خدمات پیشنهادی شامل بخش‌های زیر می‌باشد:

- طراحی
- تامین تجهیزات و ساخت
- تست و تحویل ربات

پس از انجام مطالعات لازم روی ربات‌های بازرسی لوله، طراحی مفهومی ربات صورت گرفته و پس از انجام محاسبات دینامیکی ربات، به طراحی جزئی پرداخته خواهد شد. پس از تکمیل طراحی جزئی و تجهیزات لازم تامین شده و در کارگاه مجری، ربات ساخته می‌شود. پس از تست کامل عملکردی ربات در محیط شبیه‌سازی شده از شرایط نیروگاه، ربات آماده تحویل به کارفرما می‌باشد.

۷- تحویل و گارانتی

ربات به صورت کامل در کارگاه مجری نصب و راه‌اندازی شده و تحویل کارفرما خواهد شد. در اولین بهره‌برداری از ربات، نمایندگان مجری برای نظارت بر فرآیند بهره‌برداری و رفع نواقص احتمالی، در نیروگاه حاضر می‌شوند. کلیه تجهیزات تامین شده توسط مجری، در صورتی که آسیب احتمالی به دلیل مشکلات مربوط به کاربری نادرست یا تخریب به عمد یا غیر عمد و حوادث غیر مترقبه و یا عیوب مربوط به سایر تجهیزات نباشد، برای مدت ۱۵ ماه پس از تحویل تجهیزات در محل مجری و یا ۱۲ ماه پس از اولین بهره‌برداری ربات (هر کدام

زودتر اتفاق بیافتد) مورد گارانتی می‌باشند. خدمات پس از فروش تا ۵ سال پس از نصب ارائه خواهد شد. هزینه‌های خارج از گارانتی بر اساس قیمت‌های روز محاسبه خواهند شد.

۸- زمان‌بندی اجرای پروژه

با توجه به شرح خدمات معرفی شده و زمان لازم جهت تامین تجهیزات، زمان پیشنهادی به شرح زیر ارائه شده است.

ردیف	شرح فعالیت	ارزش وزنی	۱۰۰٪	۲۰۰٪	۳۰۰٪	۴۰۰٪	۵۰۰٪	۶۰۰٪	۷۰۰٪	۸۰۰٪
۱	فاز اول: دریافت اطلاعات از کارفرما و بررسی آنها و نهایی کردن مشخصات	۵٪	**							
	- دریافت نقشه و اطلاعات مسیر لوله‌ها - جلسه فنی با مهندسی کارفرما و هم‌سنگ کردن اطلاعات									
۲	فاز دوم: طراحی اجزای سیستم	۴۵٪	**	**	**	**				
	- طراحی مفهومی و محاسبات دینامیکی ربات - طراحی جزئی ربات - طراحی سیستم کنترلی - طراحی مفهومی و جزئی کابل جمع‌کن - طراحی پنل کنترلی - استخراج نقشه‌های ساخت و کنترل کیفیت									
۳	فاز سوم: خرید تجهیزات و ساخت آنها	۳۰٪		**	**	**	**	**	**	
	- سفارش تجهیزات وارداتی - ساخت قطعات ربات و کابل جمع‌کن و پنل کنترلی									
۴	فاز چهارم: تست و تحویل	۲۰٪						**	**	**
	- تست در محل مجری و رفع عیوب احتمالی - تکمیل تست‌های طولانی و تحویل موقت در محل مجری - اصلاح و تکمیل مدارک و تحویل به کارفرما پس از اولین بهره‌برداری									

۹- پیشنهاد مالی

پیشنهاد مالی شامل هزینه‌های نیرو انسانی، تامین و ساخت ربات بازرسی می‌باشد. قیمت پیشنهادی برای شرح خدمات ذکر شده در این پیشنهاد، شامل طراحی و ساخت ربات بازرسی، کابل جمع‌کن خودکار و پنل کنترلی و تست عملکردی آن برابر ۸۹،۳۸۰ دلار می‌باشد. لازم به ذکر است، همه پرداخت‌ها به صورت ریالی در نظر گرفته شده است. معادل ریالی ارز توافق شده با نرخ ارز آزاد در روز پرداخت، محاسبه و پرداخت می‌شود.

۱۰- شرایط پرداخت

- ۳۰٪ مبلغ قرارداد به عنوان پیش پرداخت
- ۴۰٪ مبلغ قرارداد بعد از تامین تجهیزات اصلی و قبل از ساخت
- ۳۰٪ پس از ساخت و تحویل به کارفرما