

به نام خدا



Market Code

مدلسازی و تحلیل ارتعاشات غیر خطی لوله حاوی جریان سیال

نسخه: ۱/۰

	حمید ظفری: کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک	توسعه دهنده :
	حمید ظفری	تهیه کننده مستند:
	۹۳ / ۷ / ۱۵	تاریخ تنظیم سند:

فهرست مطالب

۲	۱ فصل اول: راهنمای کاربری
۲	۱-۱. شرح اولیه کد و ملاحظات مربوط به آن
۸	Main_۱.۲-۱
۱۰	Main_۲.۳-۱
۱۱	Main_۳.۴-۱
۱۱	Main_۳-۱.۱-۴-۱
۱۳	Main_۳-۲.۲-۴-۱
۱۴	Main_۳-۳.۳-۴-۱
۱۵	۵-۱. مثال‌هایی برای اجرای کد
۱۸	۶-۱. روش اجرای کد
۲۰	۲ فصل دوم: راهنمای آموزشی
۲۰	۱-۲. مقدمه
۳۲	۲-۲. معادلات حرکت
۳۲	۱-۲-۲. فرضیات
۳۳	۲-۲-۲. معرفی برخی مفاهیم پایه
۳۷	۳-۲-۲. معادله حرکت لوله یکسرگیردار
۴۷	۴-۲-۲. مفهوم فیزیکی عبارات و پارامترهای بی‌بعد
۴۹	۵-۲-۲. معادله حرکت لوله دارای سطح مقطع متغیر
۵۴	۳-۲. روش حل
۵۵	۱-۳-۲. روش گلرکین
۵۶	۲-۳-۲. گسسته‌سازی معادله حرکت
۶۰	۳-۳-۲. روند محاسبه عددی دستگاه معادلات دیفرانسیل
۶۲	۴-۲. نتایج
۶۲	۱-۴-۲. صحت سنجی کدها برای مدل خطی

۶۹	۲-۴-۲. تاثیر جهت نیروی جاذبه و طول لوله
۷۱	۳-۴-۲. تعریف جدید برای ضریب β و رسم نمودار سرعت بحرانی-ضریب βT
۷۴	۴-۴-۲. تغییر شیب جداره داخلی و خارجی و تعریف سرعت بی بعد جدید
۷۸	۵-۴-۲. صحت سنجی مدل غیرخطی
۸۲	۶-۴-۲. رفتار غیرخطی سیستم پس از شروع ناپایداری
۸۷	۵-۲. جمع بندی و نتیجه گیری
۹۱	۳ منابع
۹۷	۴ ضمیمه

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ مدل سیمولینک ایجاد شده به منظور حل معادله دیفرانسیل غیرخطی..... ۱۴
- شکل ۲-۱ نمودارهای مربوط به مثال اول ۱۶
- شکل ۳-۱ نمودارهای مربوط به مثال دوم ۱۷
- شکل ۴-۱ نمودارهای مربوط به مثال سوم ۱۷
- شکل ۵-۱ نمودارهای مربوط به مثال چهارم ۱۸
- شکل ۱-۲: نمایی از مبدل حرارتی و جریان سیال داخل و خارج لوله‌ها ۲۸
- شکل ۲-۲: لوله حاوی جریان سیال همراه با فنر در امتداد لوله ۲۹
- شکل ۳-۲: طرحی انتزاعی از قایقی که با حرکات موج‌وار لوله که ناشی از خروج آب از آن است حرکت می‌کند. ۳۰
- شکل ۴-۲: پرشتاب‌ترین ربات شناگری که با الگوبرداری از یک ماهی ساخته شده است ۳۰
- شکل ۵-۲: پیچش لوله C شکل حامل جریان که به علت نیروی کریولیس ناشی از ارتعاش لوله و حرکت سیال است. ۳۱
- شکل ۶-۲ ۳۴
- شکل ۷-۲ ۳۶
- شکل ۸-۲: شکل شماتیک لوله مخروطی حامل جریان ۵۱
- شکل ۹-۲ مدل سیمولینک برای حل دستگاه معادلات دیفرانسیل غیرخطی ۶۱
- شکل ۱۰-۲ (a): منحنی بدست آمده توسط هانویر برای سیستمی با مشخصات $\delta = 0.5$, $\epsilon = 20$, $\gamma i = 0.03$, $\gamma H = 20.05$ (b): منحنی بدست آمده توسط مدلسازی صورت گرفته در این کار با مقادیر بی‌بعد متناظر با کار هانویر ۶۴
- شکل ۱۱-۲ نمودار تغییرات سرعت بحرانی و فرکانس بحرانی برحسب تغییرات ϵ برای سیستمی با مشخصات $\delta = 0.5$, $\gamma i = -0.03$, $\gamma H = 0.00251\epsilon^3$ ۶۵
- شکل ۱۲-۲ مقایسه نمودار جامپ بدست آمده از مدلسازی، با نتایج کار پایدوسی و گرگوری برای لوله استوانه‌ای ۶۶
- شکل ۱۳-۲ نمودار فرکانس‌های مود اول تا چهارم برای لوله حاوی جریان استوانه‌ای: (a) $\beta = 0.2$, (b) ۶۶

۶۷.....	$\beta = 0.5$
۶۹.....	شکل ۱۴-۲: نمودار تغییرات سرعت بحرانی بر حسب ضریب β با استفاده از مودهای مختلف برای حل
۷۰.....	شکل ۱۵-۲: نمودار تغییرات سرعت بحرانی بر حسب ضریب χ برای سیستمی با مشخصات $\gamma H = 0.5$, $\beta = 0.5$
۷۱.....	$\rho^* = 11 - 0.12, ae = 0, 0.00251 \times 23\chi$
۷۲.....	شکل ۱۶-۲: نمودار تغییرات سرعت بحرانی لوله مخروطی بر حسب ضریب βT برای زوایای مختلف با مشخصات
۷۳.....	$\gamma = 0, \lambda = 0.5, \chi = 40$ (۱۲ مود)
۷۴.....	شکل ۱۷-۲: نمودار بزرگنمایی شده شکل ۱۶-۲
۷۵.....	شکل ۱۸-۲: مقایسه نمودارهای پرش برای لوله های مخروطی باز و بسته شونده با شیب جداره بیرونی صفر و
۷۶.....	همسان با شیب جداره داخلی
۷۷.....	شکل ۱۹-۲: نمودارهای رسم شده در شکل ۱۸-۲ بر حسب سرعت بی بعد جدید
۷۸.....	شکل ۲۰-۲: نمودار دامنه حرکت لوله استوانه ای پس از وقوع ناپایداری با ۳ و ۴ مود. پایدوسی و سملر ۱۹۹۸
۷۹.....	
۸۰.....	شکل ۲۱-۲: نمودار دامنه حرکت لوله استوانه ای پس از وقوع ناپایداری با تغییر سرعت (۴ مود)
۸۱.....	شکل ۲۲-۲: نمودار بیشینه دامنه حرکت لوله استوانه ای پس از وقوع ناپایداری با ۴، ۶ و ۸ مود در $\beta T = 0.5$
۸۲.....	شکل ۲۳-۲: نمودار بیشینه دامنه حرکت لوله استوانه ای پس از وقوع ناپایداری با ۴، ۶ و ۸ مود در $\beta T = 0.1$
۸۳.....	شکل ۲۴-۲: نمودار سمت راست: حرکت نوسانی نوک لوله در زمان بی بعد. نمودار سمت چپ: نمودار فاز حرکت نوک لوله. ۴ مود برای حل و $u = 13.4, \beta T = 0.1$
۸۴.....	شکل ۲۵-۲: نمودار سمت راست: حرکت نوسانی نوک لوله در زمان بی بعد. نمودار سمت چپ: نمودار فاز حرکت نوک لوله. ۶ مود برای حل و $u = 13.4, \beta T = 0.1$
۸۵.....	شکل ۲۶-۲: نمودار سمت راست: حرکت نوسانی نوک لوله در زمان بی بعد. نمودار سمت چپ: نمودار فاز حرکت نوک لوله. ۸ مود برای حل و $u = 13.4, \beta T = 0.1$
۸۶.....	شکل ۲۷-۲: نمودار سمت راست: حرکت نوسانی نوک لوله در زمان بی بعد. نمودار سمت چپ: نمودار فاز حرکت نوک لوله. ۴ مود برای حل و $u = 5, \beta T = 0.5$
۸۷.....	شکل ۲۸-۲: نمودار سمت راست: حرکت نوسانی نوک لوله در زمان بی بعد. نمودار سمت چپ: نمودار فاز حرکت نوک لوله. ۶ مود برای حل و $u = 5, \beta T = 0.5$
۸۸.....	شکل ۲۹-۲: نمودار بیشینه دامنه حرکت برای لوله های مخروطی با زوایای داخلی مختلف و ضرایب بتای متفاوت

شکل ۳۰-۲: نمودار بیشینه دامنه حرکت لوله مخروطی با شیب های مختلف جداره داخلی، پس از وقوع ناپایداری با ۶ مود در $\beta T = 0.1$ ۸۶

شکل ۳۱-۲: نمودار بیشینه دامنه حرکت لوله مخروطی با شیب های مختلف جداره داخلی، پس از وقوع ناپایداری با ۶ مود در $\beta T = 0.5$ ۸۷

Market Code

فهرست جداول

- جدول ۱-۱ معرفی متغیرهای موجود در کد ۹
- جدول ۲-۱ داده‌های مورد استفاده برای اجرای کد و جواب بدست آمده به ازای داده‌های ورودی ۱۶
- جدول ۱-۲: مفاهیم فیزیکی عبارات موجود در معادله حرکت ۴۷
- جدول ۲-۲ مقایسه نتایج داده‌های انتخابی از نمودار شکل ۱۱-۲ با نتایج مدل‌سازی ۶۵
- جدول ۱-۴: توابع انتگرالی مورد نیاز برای محاسبه حاصلضرب دوبه دوی جملات توابع شکل مود در هر سه انتگرال ۱۰۳
- جدول ۲-۴: جدول مقادیر انتگرال حاصلضرب جملات توابع شکل مود، برای محاسبه $\int \phi i \phi j$ ۱۰۴
- جدول ۳-۴: جدول مقادیر انتگرال حاصلضرب جملات توابع شکل مود، برای محاسبه $\int x \phi i \phi j$ ۱۰۵
- جدول ۴-۴: جدول مقادیر انتگرال حاصلضرب جملات توابع شکل مود، برای محاسبه $\int x^2 \phi i \phi j$ ۱۰۵
- جدول ۵-۴: عبارت ضرایب ثابت مربوط به انتگرال حاصلضرب جملات توابع شکل مود ۱۰۵
- جدول ۶-۴: مقادیر ضرایب ثابت مربوط به انتگرال حاصلضرب جملات توابع شکل مود ۱۰۶

چکیده

مسئله لوله حاوی جریان سیال از حدود سال ۱۹۵۰ به منظور تحلیل ارتعاشات خطوط انتقال نفت بطور جدی مورد بررسی قرار گرفت. علی‌رغم اینکه این سیستم از لحاظ ساختاری سیستمی ساده است اما از نظر رفتار دینامیکی بسیار پیچیده است. وجود پدیده‌های بسیار جالب و متنوع غیرخطی در رفتار دینامیکی این سیستم باعث علاقه‌مندی ریاضیدانان و فیزیکدانان به این مسئله شد، که خصوصا در لوله یکسر آزاد بیشتر نمود پیدا می‌کند. مدلسازی چنین سیستمی در مبدل‌های حرارتی، رآکتورهای هسته‌ای، ابزارهای میکرو و نانو، سیستم انتقال سوخت راکتها (به علت اهمیت کاهش وزن و در نتیجه انعطاف‌پذیری بیشتر)، رباتها و تجهیزات پیمایشگر زیر آبی، بررسی اضمحلال ریوی و ... کاربرد دارد. در این تحقیق یک رابطه تحلیلی غیرخطی برای ارتعاشات خودتحریک لوله حاوی جریان سیال استخراج شده است که یکسر آن آزاد و سر دیگر آن گیردار است و تحت تاثیر نیروی جاذبه قرار گرفته است. معادلات غیرخطی با استفاده از روش همیلتون بدست آمده و با تعریف پارامترهای بی‌بعد مناسب، معادله حرکت بی‌بعد شده است. سپس با فرض تیر اولر-برنولی و با استفاده از روش گلرکین معادله را گسسته کرده و به یک معادله دیفرانسیل وابسته به زمان خواهیم رسید. با کدنویسی در نرم‌افزار Matlab و ایجاد مدل در سیمولینک، معادله را حل کرده و تاثیر پارامترهای مختلف بر رفتار سیستم را بررسی کرده‌ایم.

کلمات کلیدی: لوله حاوی جریان سیال، ارتعاشات خودتحریک، تیر اولر-برنولی، روش گلرکین

۱ فصل اول: راهنمای کاربری

۱-۱. شرح اولیه کد و ملاحظات مربوط به آن

با استفاده از کد موجود و مدل سیمولینک ایجاد شده قصد حل معادله دیفرانسیل زیر را داریم:

$$m_{ij}\ddot{q}_j + c_{ij}\dot{q}_j + k_{ij}q_j + B_{ijkl}q_jq_kq_l + D_{ijkl}q_jq_k\dot{q}_l + E_{ijkl}q_j\dot{q}_k\dot{q}_l + F_{ijkl}q_jq_k\ddot{q}_l = 0 \quad (1)$$

که یک معادله دیفرانسیل غیرخطی است. ضرایب m_{ij} ، c_{ij} تا F_{ijkl} ضرایب مستقل از زمان معادله هستند که با استفاده از انتگرال حاصلضرب توابع شکل مود و مشتقات آنها و ضرایب بی بعد هندسی وارده از طرف کاربر به برنامه تعیین می شوند. q ها عبارات وابسته به زمانی هستند که مجهولات این معادله می باشند.

$$m_{ij} = \frac{\Lambda}{\lambda^2} \int_0^1 (A_f^* + \rho^* A_p^*) \phi_i \phi_j d\xi$$

$$c_{ij} = 2u\sqrt{\Lambda} \int_0^1 \phi_i \phi_j' d\xi$$

$$\begin{aligned}
k_{ij} = & \int_{\cdot}^{\cdot} I^* \phi_i \phi_j''' d\xi \\
& + \frac{u^\gamma \lambda^\gamma}{A_f^*(\gamma)} \int_{\cdot}^{\cdot} \phi_i \phi_j'' d\xi + \int_{\cdot}^{\cdot} I^{*''} \phi_i \phi_j'' d\xi + \gamma \int_{\cdot}^{\cdot} I^{*'} \phi_i \phi_j''' d\xi \\
& + \frac{\Lambda}{\lambda^\gamma} \gamma \left(\int_{\cdot}^{\cdot} (A_f^* + \rho^* A_p^*) \phi_i \phi_j' d\xi \right. \\
& \left. - \int_{\cdot}^{\cdot} \phi_i \phi_j'' \int_{\xi}^{\cdot} (A_f^* + \rho^* A_p^*) d\xi d\xi \right)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
B_{ijkl} = & \frac{u^\gamma \lambda^\gamma}{A_f^*(\gamma)} \int_{\cdot}^{\cdot} \phi_i \left(\phi_j' \phi_k' \phi_l'' - \phi_j'' \int_{\xi}^{\cdot} \phi_k' \phi_l'' d\xi \right) d\xi \\
& + \frac{\Lambda}{\lambda^\gamma} \gamma \left(\frac{1}{\gamma} \int_{\cdot}^{\cdot} (A_f^* + \rho^* A_p^*) \phi_i \phi_j' \phi_k' \phi_l' d\xi \right. \\
& \left. - \frac{\gamma}{\gamma} \int_{\cdot}^{\cdot} \phi_i \phi_j' \phi_k' \phi_l'' \int_{\xi}^{\cdot} (A_f^* + \rho^* A_p^*) d\xi d\xi \right) \\
& + \int_{\cdot}^{\cdot} I^* \phi_i (\phi_j' \phi_k' \phi_l''' + \gamma \phi_j' \phi_k'' \phi_l''' + \phi_j'' \phi_k'' \phi_l'') d\xi \\
& + \int_{\cdot}^{\cdot} I^{*'} \phi_i (\gamma \phi_j' \phi_k' \phi_l''' + \gamma \phi_j' \phi_k'' \phi_l'') d\xi + \int_{\cdot}^{\cdot} I^{*''} \phi_i \phi_j' \phi_k' \phi_l'' d\xi
\end{aligned}$$

$$D_{ijkl} = \gamma u \sqrt{\Lambda} \int_{\cdot}^{\cdot} \phi_i \left(\phi_j' \phi_k' \phi_l' - \phi_j'' \int_{\xi}^{\cdot} \phi_k' \phi_l' d\xi \right) d\xi$$

$$\begin{aligned}
E_{ijkl} = F_{ijkl} = & \frac{\Lambda}{\lambda^\gamma} \gamma \left(\int_{\cdot}^{\cdot} (A_f^* + \rho^* A_p^*) \phi_i \phi_j' \int_{\cdot}^{\xi} \phi_k' \phi_l' d\xi d\xi \right. \\
& \left. - \int_{\cdot}^{\cdot} \phi_i \phi_j'' \int_{\xi}^{\cdot} (A_f^* + \rho^* A_p^*) \int_{\cdot}^{\xi} \phi_k' \phi_l' d\xi d\xi d\xi \right)
\end{aligned}$$

(۲)

و پارامترهای بی‌بعد هندسی موجود در عبارات بالا نیز بدین قرارند: