مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

۱۳۷۸ /۷/ ۲۷

پروژه کارشناسی ارشد

طراحی و ساخت سلول فلوتاسیون ستونی

اساتید راهنما:

دکتر صمد بنیسی

دکتر منوچهر اولیازاده

محمد نثاری

3981/۱

تابستان ۷۸

مقدمه:

بکارگیری سلولهای فلوتاسیون ستونی بجای سلولهای مکانیکی در ۲۰ سال اخیر در صنعت فرآوری رشد چشمگیری داشته است. دلیل این امر کارآیی بالا و هزینه سرمایه ای و عملیاتی کمتر آن نسبت به سلولهای معمولی میباشد. با اینکه این سلول ابتدا فقط برای پرعیار کردن عناصر خاصی مانند مولیبدن و مس بکار گرفته می شد ولی امروزه برای اکثر کانیها و حتی رنگ زدایی از کاغذهای باطله نیز بکار میرود. در اغلب کارخانه های تازه تاسیس معمولاً سلولهای ستونی بکار گرفته میشوند.

علیرغم گزارشهای اولیه مبنی بر استفاده از ستون در مراحل نهایی فلوتاسیون، امروزه در تمامی مراحل از پرعیار کنی اولیه تا نهایی از این سلولها استفاده میشود. در کارخانه های قدیمی پر عیار سازی که دستگاهها نیاز به تعویض دارند، جانشینی آنها با سلولهای ستونی ثمر بخش خواهد بود.

کارخانه مجتمع مس سرچشمه که ۲۰ سال از بهره برداری آن میگذرد نیز از این امر مستثنی نیست مضاف بر اینکه طرح گسترش که در آن سلول ستونی نیز بکار گرفته خواهد شد تا ۳ سال دیگر به اجرا در خواهد آمد.

از اینرو جهت آشنایی با عوامل موثر در کار سلول و آمادگی برای ساخت مقیاس صنعتی آن، طراحی و ساخت سلول نیمه صنعتی ضروری بنظر میرسد.

م. نثاری

چکیده:

تصب و راه اندازی سلول فلوتاسیون ستونی در مقیاس صنعتی نیز همانند هر طرح دیگر به یک سری مقدمات نیاز دارد که این مقدمات همان مطالعات امکانسنجی و آزمایشات مربوطه در مقیاس کوچکتر میباشند.

با توجه به طرح توسعه مجتمع مس سرچشمه که در آن از سلول فلوتاسیون ستونی استفاده خواهد شد، وزارت محترم معادن و فلزات ساخت این سلول را در مقیاس نیمه صنعتی پیشنهاد نمود که پروژه اخیر بمنظور تحقق یافتن این امر و تحت عنوان "طراحی و ساخت سلول فلوتاسیون ستونی" ارائه میشود.

کل مطلب را میتوان در دو بخش خلاصه نمود: بخش اول طراحی و ساخت سلول ستونی و بخش دوم طراحی و ساخت سیستم کنترل مربوطه. قابل ذکر است که طراحی و ساخت کلیه قسمتها در داخل کشور انجام شده و امید است که با پایه قرار دادن این تحقیق و توسعه آن به مقیاس صنعتی بخشی از نیاز طرح توسعه کارخانه فرآوری مس سرچشمه که ستون فلوتاسیون یکی از ارکان آن میباشد، برآورده گردد.

م. نثاری

تقدیر:

حال که به لطف پروردگار پروژه به اتمام رسید بر خود واجب میدانم از تمامی عزیزانی که به نوعی در هر چه بهتر به ثمر رسیدن آن مرا یاری نمودند تشکر نمایم:

از استاد محترم جناب آقای دکتر صمد بنیسی که با راهنمائیها و مساعدتهای بی دریغشان همواره برایم تکیه گاهی بودند و پیشرفت روز به روز کار را مدیون ایشان میباشم، صمیمانه متشکرم؛

و از استاد گرامی جناب آقای دکتر منوچهر اولیازاده بخاطر راهنمائیهای مفیدشان کمال تشکر را دارم.

زحمات جناب آقای مهندس نوری را در ساخت سلول سپاس میگویم و از ایشان بعنوان یک صنعتگر خلاق و با تدبیر قدردانی مینمایم.

سلول فلوتاسیون ستونی بدون سیستم کنترل مفهومی ندارد؛ بدینوسیله از دوستان ارجمندم مهندس حبیبیان، دکتر زمانی و مهندس میرحسینی که طراحی و ساخت سیستم کنترل را به بهترین نحو به پایان رساندند، سپاسگذارم.

در پایان از دوستان گرامی جناب آقای مهندس یاراحمدی و مهندس درویشی که در تهیه روند کار نقش موثری داشتند، متشکرم.

م. نثاری

فهرست

عنوان **شماره صفحه**

فصل اول: طراحی سلول فلوتاسیون ستونی

۱-۱-مدل بزرگ مقیاس کردن ۱

۱-۱-۱-جمع آوری ذره ۱

۱-۱-۲-ظرفیت حمل ٦

۱-۱-۳-محدوده سطح حبابساز ٦

۱-۱-۴-نتیجه گیری از مثال طراحی سلول ۷

۱-۲-آزمون آزمایشگاهی و نیمه صنعتی ستونی ۷

۱-۲-۱-ستون نیمه صنعتی ۸

۱-۲-۲-آزمایشهای امکانسنجی ۱۱

۱-۲-۳-برآورد عوامل ۱۳

۱-۲-۳-۱-ثابت نرخ ۱۳

۱-۲-۳-۲-ظرفیت حمل ۲۲

۱-۲-۳-۳-مدل ظرفیت حمل ۲۲

۱-۲-۳-۴-ظرفیت حمل آزمایشی ۲۳

۱-۳-انجام آزمایش با ستونهای نیمه صنعتی بزرگ ۳۰

۱-۴-مطالعه موردی بزرگ مقیاس کردن ۳۱

۱-۴-۱-مطالعه موردی ۱: شستشوی محصول میانی سرب ـ روی (معدن Mt.Isa) ۳۱

۱-۴-۲-مطالعه موردی ۲: جدایش مس ـ نیکل (Falconbridge) ۳۳

۱-۵-مدارهای ستون فلوتاسیون ۳٦

۱-۵-۱-مرور گزیده ۳٦

۱-۵-۲-شبیه سازی تاثیر برخی متغیرهای طراحی و عملیاتی ۳۸
متابع فصل اول ۴۳

فصل دوم: اندازه گیری و کنترل عملیات فلوتاسیون ستونی

۲-۱-اندازه گیری ۴۵
۲-۱-۱-موقعیت سطح مشترک پالپ و کف ۴۵
۲-۱-۱-۱-فشار ـ اندازه گیری منفرد ۴۶
۲-۱-۱-۲-دریافت کننده (حسگر) های چند گانه فشار ۵۰
۲-۱-۱-۳-شناور ۵۳
۲-۱-۱-۴-دما ۵۴
۲-۱-۱-۵-هدایت الکتریکی ۵۶
۲-۱-۱-۵-ساختمان و نحوه کار میله های اندازه گیر هدایت الکتریکی ۵۸
۲-۱-۲-بایاس ۶۱
۲-۱-۲-۱-مشکل تعریف ۶۱
۲-۱-۲-۲-موازنه جرم برای اندازه گیری J_B ۶۴
۲-۱-۲-۳-استفاده از پروفیلهای خصوصیات سیستم برای اندازه گیری J_B ۶۵
۲-۱-۳-نرخ گاز دهی و ماندگی گاز ۶۷
۲-۱-۳-۱-نرخ گازدهی ۶۷
۲-۱-۳-۲-ماندگی گاز ۶۷
۲-۲-کنترل ۶۸
۲-۲-۱-ماتریس فرایند ۶۸
۲-۲-۲-کنترل پایدارساز ۷۱
۲-۲-۳-کنترل بهینه ساز ۷۴
۲-۲-۳-۱-نرخ گاز دهی /ماندگی گاز ۷۴
۲-۲-۳-۲-نرخ بایاس ـ نرخ آب شستشو ۷۶
۲-۲-۳-۳-سطح وعمق کف ۷۷

۲-۲-۴-کنترل مدار ۷۷
۲-۳-تعیین سطح مشترک در ستونهای فلوتاسیون در Falconbridge ۷۹
۲-۳-۲-مقدمه ۷۹
۲-۳-۳-سیستمهای تشخیص سطح ۸۰
۲-۳-۳-۱-ستون نیمه صنعتی ۸۱
۲-۳-۳-۲-ستون تولید ۸۲
۲-۳-۴-نتایج و بحث ۸۳
۲-۳-۵-ستون نیمه صنعتی ۸۴
۲-۳-۶-ستون صنعتی ۸۷
۲-۳-۷-نتیجه گیری ۹۰
منابع فصل دوم ۹۱
فصل سوم: طراحی و ساخت سلول ستونی برای مجتمع نیمه صنعتی مس سرچشمه
۳-۱-تعیین پارامترها ۹۳
۳-۱-۱-نرخ جامد خوراک، دانسیته جامد، درصد جامد و اندازه ذرات ۹۴
۳-۱-۲-نرخ گاز دهی، نرخ جریان بایاس و ماندگی گاز ۹۷
۳-۲-طراحی اجزاء مختلف ستون ۱۰۲
۳-۲-۱-ورودی خوراک ۱۰۲
۳-۲-۲-ته ریز ۱۰۳
۳-۲-۳-سر ریز ۱۰۴
۳-۲-۴-حبابساز ۱۰۵
۳-۲-۵-سیستم آب شستشو ۱۰۷
۳-۲-۶-مخزن آرام کننده هوا ۱۰۹
۳-۲-۷-پایه ستون ۱۱۱
۳-۲-۸-تابلو ۱۱۲
فصل چهارم: سیستم کنترل سطح مشترک کف و پالپ براساس قابلیت هدایت الکتریکی
۴-۱-مفاهیم پایه ۱۲۲

۴-۱-۱-مفهوم قابلیت هدایت الکتریکی ۱۲۲
۴-۱-۲-واحدهای هدایت الکتریکی ۱۲۴
۴-۱-۳-اندازه گیری هدایت الکتریکی ۱۲۴
۴-۲-ثابت سلول و عوامل هندسی ۱۲۷
۴-۲-۱-فرضیه پتانسیل و سه نوع توزیع یکنواخت چگالی جریان ۱۲۷
۴-۲-۲-اشکال متفاوت با سه حالت توزیع یکنواخت چگالی جریان ۱۳۲
۴-۳-هدایت الکتریکی سیستمهای دو فازی و سه فازی ۱۳۶
۴-۳-۱-تعریف ۱۳۶
۴-۳-۲-مدلهای موجود ۱۳۶
تشخیص فصل مشترک کف و پالپ: روشهای تجربی و نتایج ۱۴۴
۴-۴-مقدمه ۱۴۴
۴-۵-ستونهای آزمایشی ۱۴۵
۴-۵-۱-فعالیتهای قبلی ۱۴۵
۴-۵-۲-فعالیتهای مقدماتی در تشخیص سطح مشترک با استفاده از قابلیت هدایت الکتریکی ۱۴۶
۴-۵-۳-تشخیص سطح بوسیله پروفیلهای رسانایی ۱۵۲
۴-۵-۴-مطالعات پایه ای در مورد تاثیر شکل سلول اندازه گیر هدایت الکتریکی ۱۵۸
۴-۶-ستونهای صنعتی ۱۶۵
۴-۶-۱-ساخت میله اندازه گیر هدایت الکتریکی برای کاربردهای صنعتی ۱۶۶
۴-۶-۲-بررسی عملکرد شکل الکترود در میله هدایت سنج ساکن ۱۷۸
منبع فصل چهارم ۱۹۷
فصل پنجم: طراحی سیستم کنترل سلول ستونی نیمه صنعت
۵-۱-کامپیوتر ۱۹۸
۵-۲-دستگاه نواساز ۱ ..... ۲۰۰
۵-۳-میله هدایت سنج الکتریکی ۲۰۱
۵-۴-کنترل کننده دور موتور ۲۰۱

۵-۵- نرم افزار ۲۰۲
۵-۵-۱- گراف ۲۰۲
۵-۵-۲- کلیدهای برنامه و تشانگرهای مدرج ۲۰۳
نتیجه گیری ۲۰۷

فصل اول

طراحی سلول
فلوتاسیون ستونی

فصل اول

طراحی سلول
فلوتاسیون ستونی

طراحی سلولهای فلوتاسیون ستونی

در این فصل روش طراحی سلول فلوتاسیون ستونی مرور میشود که شامل محاسبه قدم به قدم و تشریح دستور العمل آزمایشی جهت تخمین عوامل مورد نیاز میباشد. دو مثال بزرگ مقیاس کردن نیز از امکانسنجی و تخمین عوامل تا نتایج کارخانه ارائه میشود.

با استفاده از اطلاعات سینتیکی دو شیوه برای طراحی ارائه شده است: a) استفاده از ثابت نرخ کلی k_{fc}، یا b) استفاده از ثابت نرخ ناحیه جمع آوری k_c همراه یک مقدار بعنوان بازیابی ناحیه کف R_f. روش دوم، روش جامعتری است: در این فصل هر دو این روشها توضیح داده میشود.

۱-۱ مدل بزرگ مقیاس کردن

۱-۱-۱ جمع آوری ذره

بازیابی ناحیه جمع آوری توسط معادله (۱-۱) بیان میشود:

$$R = 1 - \frac{4a\exp\left(\frac{1}{2N_d}\right)}{(1+a)^2\exp\left(\frac{a}{2N_d}\right) - (1-a)^2\exp\left(\frac{-a}{2N_d}\right)} \qquad (۱-۱)$$

که در آن:

$$a = (1+4k\tau N_d)^{1/2} \qquad (۱-۲)$$

$$N_d = \frac{0.063 d_c \left(J_g / 1.6\right)^{0.3}}{\left[J_{sl}/\left(1-\varepsilon_g\right) + U_{sp}\right] H_c} \qquad (۱-۳)$$

$$U_{Sp} = \frac{g d_p^{\,2}\left(\rho_p - \rho_{sl}\right)\left(1-\phi_s\right)^{2.7}}{18\mu_f\left(1+0.15\mathrm{Re}_p^{\,0.687}\right)}$$

که

$$Re_p = d_p U_{sp} \rho_l (1 - \varphi_s) / \mu_f$$

(۴-۱)

$$\tau_p = \tau_l \left(\frac{J_{sl} / (1 - \varepsilon_g)}{J_{sl} / (1 - \varepsilon_g) + U_{sp}} \right)$$

و

$$\tau_l = H_c (1 - \varepsilon_g) / J_{sl}$$

تاکنون مدل تفصیلی برای بازیابی ناحیه کف، R_f ، ارائه نشده است اما در شبیه سازی جامع باید درنظر گرفته شود. بازیابی کلی R_{fc} توسط رابطه زیر بیان میشود:

(۵-۱)

$$R_{fc} = \frac{R_c R_f}{R_c R_f + 1 - R_c}$$

نحوه استفاده از این طرح توسط یک مثال فرضی نشان داده خواهد شد. جدول (۱-۱) اطلاعات لازم را در این مورد میدهد. شیوه ای که برای انتخاب اندازه ستون در این مثال اتخاذ شده عبارتست از انتخاب یک ستون پایه به قطر $d_{c(base)} = 1\ m$ و تعیین تعداد ستونهای دیگری که باید با این ستون بطور موازی قرار گیرند تا بازیابی مورد نظر (۷۰٪) در این مثال برای کانی A حاصل شود. در این مثال از روش (b) استفاده شده است (استفاده از k_c و R_f).

جدول ۱-۱: داده های مربوط به نحوه طراحی سلول ستونی

مشخصات خوراک	
نرخ جامد، M_{FS}	۲۵ t/hr =
دانسیته جامد	۴/۴ g/cm^3 =
درصد جامد	۳۵٪ = (۱/۳۷ = ρ_{sl} ، ۰/۱۰۹ = ϕ_s)
Q_F ∴	۸۶۹ L/min =
و Q_{FW}	۷۷۴ L/min =
Q_{FS}	۹۵ L/min =
محتوی کانی	۵۰٪ کانی A ، ۵۰٪ کانی B
ثابت نرخ کانی، K_{cA} و K_{cB}	۰/۳ min^{-1} = و ۰/۰۱۲ min^{-1}
اندازه ذره کانی، d_{80}	۳۷ μm =
مشخصات ستون	
قطر پایه واحد، $d_{c(base)}$	۱ m =
A_c ∴	۰/۷۸۵ m^2 =
ارتفاع، H_c	۱۰ m =
نرخ بایاس، J_B	۰/۱ cm/s =

تعداد واحدهای پایه	N =
ماندگی گاز، ε_g	۱۵٪ =
نرخ گازدهی، J_g	۱/۶ cm/s =
کارآیی مورد نظر	
بازیابی کانی A	۷۰٪ = <
عیار	۸۸٪ > کانی A

قدم اول: انتخاب N که بستگی با انتخاب کاربر دارد؛ فرض کنید ۴ = N باشد.

قدم دوم: محاسبه J_{sl}. برای شروع J_{sl} مشخص نیست بنابراین برآوردی برای شروع حل لازم است. معادله زیر را در نظر بگیرید :

$$J_{sl} \approx J_T = [\, Q_{FW} + (1 - R_{tot})\, Q_{FS} \,] / \, NA_c + J_B \qquad (۶-۱)$$

که در آن R_{Tot} بازیابی جرمی کلی است که تخمین زده میشود؛ اگر R_{Tot} محاسبه شده تفاوت قابل ملاحظه ای با این مقدار داشته باشد مجدداً با R_{Tot} جدید محاسبات انجام میشود، در اینجا اگر R_{Tot}، ۴۵٪ قرار داده شود، درنتیجه J_{sl} = ۰/۵۴ cm/s بدست خواهد آمد .

قدم سوم: محاسبه τ_l

$$\tau_l = [10 (0/85)/0/54\,] \times (100/60) = 26/2 \text{ min}$$

توجه داشته باشید که نسبت ۱۰۰/۶۰ مربوط به تبدیل متر به سانتی متر و ثانیه به دقیقه است.

قدم چهارم: محاسبه U_{Sp} (استفاده از روش سعی و خطا برای حل معادله ۱-۳)

برای $d_p = 37\mu m$ و $U_{Sp} = 0/16$ cm/s (پواز $\mu_{sl} = 0/01$ فرض کنید).

قدم پنجم: محاسبه τ_p

$$\tau_F = 26.2 \frac{0.54 / 0.85}{0.54 / 0.85 + 0.16} = 20.9_{\text{min}}$$

قدم ششم: محاسبه N_d

$$N_{\dot{d}} = \frac{0.063(1)(1)^{0.3}}{\left[(0.54 / 0.85) + 0.16\right]10} \times 100 = 0.79$$

توجه داشته باشید که ۱۰۰ عامل تبدیل سانتی متر به متر است.

قدم هفتم: محاسبه a در معادله (۱-۱) و سپس محاسبه R_{cA} و R_{cB} :

برای کانی A: $R_{cA} = ۹۳/۸\%$ و $a = ۴/۵۶$

برای کانی B: $R_{cB} = ۲۰/۷\%$ و $a = ۱/۳۴$

قدم هشتم: محاسبه R_{fc} با استفاده از معادله (۱-۵). بدین منظور باید برای R_f مقداری در نظر گرفته شود. در ستوتهای صنعتی R_f کمتر از ۵۰٪ میباشد. جدول (۱-۲) کارآیی ستون را بطور خلاصه برای محدوده مقادیر مختلف R_f نشان میدهد.

جدول ۱-۲: کارآیی برآورد شده برای مثال بعنوان تابعی از R_f ($R_{cA} = ۹۳/۸\%$ ، $R_{cB} = ۲۰/۷\%$)

R_f (%)	R_{fcA} (%)	R_{fcB} (%)	R_{Tot} (%)	عیار کنسانتره (% کانی A)
۲۰	۷۵/۲	۵/۰	۴۰/۱	۹۳/۸
۳۵	۸۴/۱	۸/۴	۴۶/۳	۹۰/۹
۵۰	۸۸/۳	۱۱/۲	۴۹/۸	۸۸/۵

بنابراین بازیابی مورد نظر ($R_{fcA} = ۷۰\%$) همراه با عیار قابل قبول و در محدوده R_f مورد انتظار حاصل میشود.

قدم نهم: محاسبات را با J_{sl} برآورد شده تکرار کنید. در این مورد مقدار R_{Tot} تقریباً مساوی برآورد اولیه است و درنتیجه تکرار لازم نیست.

قدم دهم: تغییر N تا اینکه بازیابی مورد نظر بدست آید (در این مثال لازم نیست).

انتخاب چهار ستون با قطر ۱ m، حدود ظرفیت مورد نظر را نتیجه میدهد. با این حال طرح پیشنهادی میتواند ستونی با قطر زیاد باشد که با تیغه ها به چهار قسمت تقسیم شود که هر قسمت قطری معادل یک متر داشته باشد. قطر ستون در این طرح توسط رابطه زیر بدست می آید :

$$d_{c(design)} = \sqrt{N} d_{c(base)}$$

که در این مورد :

$$d_{c(design)} = \sqrt{۴} \times ۱ = ۲ \text{ m}$$