TECNO AMBIENTE

Via R. Ceccardi 4/37

16121 Genova

Tel 0105958509 – Fax 010585944

E-Mail tagenova@tin.it

Provincia di GENOVA – Area 8 Ambiente

A.S.L. 3 “Genovese”

STUDIO INERENTE IL PROGETTO DI BONIFICA DELLE BOMBOLE ESAUSTE

CONSIDERAZIONI SUL SISTEMA DI INOCUIZZAZIONE DEI GAS PERICOLOSI



INDICE

1. Premessa

1. Obiettivi della relazione
2. Situazione da analizzare
3. Riferimenti

2. Spiegazione

1. Descrizione delle problematiche
2. Diversificazione dei processi

3. Procedimento

1. Ipotesi
2. Discussione delle ipotesi
3. Calcoli numerici
4. Attendibilità dei risultati

4. Conclusioni

5. Procedura di scarico del gas

1. Premessa

1.1 Obiettivi

Questa relazione si propone di chiarire inequivocabilmente le procedure a cui verranno sottoposti i gas che si espandono nell'involucro a tenuta preposto alla foratura delle bombole.

Principalmente ci occuperemo di stimare il battente liquido necessario ad assorbire o a neutralizzare, a seconda dei casi considerati, i gas che di volta in volta tratteremo.

L'obiettivo è quindi quello di dimostrare l'assoluta sicurezza del sistema da noi ideato e progettato.

1.2 Situazione da analizzare

Si fa riferimento alla documentazione da noi presentata agli enti per ottenere il consenso all'installazione di un impianto fisso per la bonifica delle bombole di gas pericolosi destinate alla rottamazione.

A seguito della conferenza dei servizi tenutasi presso la Provincia di Genova, Area 8 - Settore Ambiente in data 2/10/2002 si sono resi necessari alcune integrazioni e precisazioni.

Il problema che ci apprestiamo a risolvere non è semplice e ha richiesto una serie di considerazioni semplificative che abbiamo ponderatamente valutato.

La complessità della soluzione è dovuta principalmente al grande numero di variabili da considerare per non trascurare alcun aspetto del fenomeno.

La situazione da analizzare è quella di un gas che risale in un battente liquido in cui deve "consumarsi" senza che si liberi sul pelo libero superficiale della vasca.

Il tipo di "consumo" differisce sostanzialmente nel caso di reazione di neutralizzazione o di semplice diffusione.

I due casi, benché alcune ipotesi siano le stesse, verranno trattati diversamente ma entrambi, come vedremo, condurranno a risultati confortanti.

I fattori che influenzano il trattamento a cui sottoponiamo i gas espansi nel nostro bombolone sono molteplici. Abbiamo a che fare con variabili di tipo termodinamico, caratteristiche chimico - fisiche dei vari elementi utilizzati ma anche velocità di reazione, regimi di moto piuttosto che flussi diffusivi.

Possiamo ricordarne alcune :

- temperatura **t** ;
- pressione **p** ;
- regime di moto;
- viscosità **ν**;
- velocità di reazione **r** ;
- concentrazioni **c** ;
- diffusività **D** ;
- densità **ρ** ;
- coefficiente di trasporto $\mathbf{k_c}$.

1.3 Riferimenti

Tutte le considerazioni che ci apprestiamo a fare sono il risultato di uno studio. Nel caso specifico si possono trovare riferimenti a teorie e formule citate presso l'istituto di termodinamica dell'ingegneria chimica dell'università di Genova, più precisamente negli appunti del corso "Principi di ingegneria chimica" del Prof. Costa e sui testi, aggiornati di anno in anno, dello "Handbook of chemical Engeneering".

Altri testi di riferimento sono stati:

- Foraboschi F. P. Principi di ingegneria chimica, UTET, Torino.
- Smith, Carlos A. Automated continuous process control, New York
- Denbigh, Kenneth I principi dell'equilibrio chimico, Milano.

2. Spiegazione

2.1 Descrizione delle problematiche

La risoluzione di questo tipo di problemi richiede la conoscenza dei sistemi di equazioni differenziali, delle leggi di bilancio (di massa, di energia e di quantità di moto) sia globali che locali.
Fortunatamente, sotto determinate condizioni, queste degenerano a sistemi di formule lineari di più semplice manipolazione.
Il primo passo che facciamo è quello di definire il regime di moto delle bolle nella soluzione in cui risalgono. A seconda che ci si trovi in regime viscoso, laminare o turbolento si possono fare le prime importanti considerazioni sulla velocità delle bolle e quindi sui tempi di contatto fra le fasi.
A questo punto dobbiamo fare alcune considerazioni sui tempi di reazione o di diffusione dei gas che trattiamo nelle soluzioni opportune con lo scopo di valutare il battente in funzione del rapporto fra i tempi considerati.
Questo procedimento, che a prima vista può ingannevolmente sembrare semplice, richiede un notevole numero di considerazioni che andiamo di seguito ad affrontare.

2.2 Diversificazione dei processi

Innanzitutto dobbiamo distinguere il fenomeno della diffusione da quello della neutralizzazione con reazione chimica.
Nel primo caso, il più complesso dei due, la forza motrice del processo è la differenza di concentrazioni fra lo strato superficiale della bolla e la soluzione assorbente. Trattasi di un fenomeno regolato da flussi di materia fra le fasi liquide e gassose, difficile da valutare perché funzione differenziale delle masse in movimento. Inoltre si deve riuscire a definire qual'è il fenomeno controllante, ossia il più lento, fra il trasporto in fase liquida e quello in fase gassosa.
Nel secondo caso, più semplice, dobbiamo valutare la velocità di reazione (cioè la cinetica) alle nostre condizioni termodinamiche. Per farlo occorre conoscere le costanti e il grado relative alla reazione in esame.

3. Procedimento

3.1 Ipotesi

Qui di seguito spiegheremo le semplificazioni che ci permetteranno di giungere ad un risultato indicativo dell'andamento del processo.

Temperatura

Consideriamo la temperatura costante e uguale a quella dell'ambiente circostante.

Possiamo farlo senza pericolo di approssimazioni forzate in quanto la vasca si trova in spazio aperto e il calore di reazione si distribuisce velocemente sui 1000 l di soluzione senza influenzare la temperatura globale in maniera apprezzabile.

Pressione

E' stabilita costante e pari a quella ambiente, 1 atm.

Questo non è vero in quanto un metro di battente implica una pressione superiore sul fondo della vasca per via del peso del liquido sovrastante.

Dobbiamo considerare che un Δp di questo tipo contribuirebbe a rallentare la risalita della bolla con un effetto di dilatazione dei tempi di contatto e di miglioramento del processo.

Otteniamo anche un benefico contributo alla pura diffusione che risulta "aiutata" dalla progressiva diminuzione di pressione durante la risalita della bolla.

Diffusività

E' un parametro fondamentale per quanto riguarda i processi diffusivi.

Si trovano tabulati i valori per le principali sostanze ma principalmente ha importanza il mezzo in cui avviene la diffusione.

I problemi già risolti al riguardo forniscono con buona approssimazione valori di 0,2 cm^2/s nei gas e nell'ordine di grandezza di 10^{-5} cm^2/s nei liquidi.

Viscosità e densità della soluzione

Sono approssimabili a quelle dell'acqua, 10^{-2} cm^2/s e 1 g/cm^3.

Questi valori sono molto simili alla realtà o comunque inferiori a quelli veri quindi peggiorativi rispetto al calcolo del battente che ne risulta maggiorato.

Diametro delle bolle

Con un opportuno diffusore, esistente comunemente in commercio, accoppiato ad un riduttore di pressione (vedi cap. 5) per la regolazione del flusso in uscita dal bombolone si possono ottenere bolle di diametri definiti.

Ai fini del nostro impianto abbiamo individuato come ottimale un diametro di 0,2 cm.

Il diametro andrà inevitabilmente riducendosi durante la risalita nel liquido e anche questo risulta essere, ai fini del nostro calcolo, un elemento cautelativo. Diminuendo il diametro diminuisce anche la velocità della bolla e ad un certo punto il regime di moto diverrà viscoso ($Re < 1$) con un allungamento del tempo di contatto caratteristico del processo.

Flusso di gas

Nelle nostre considerazioni immaginiamo che le bolle arrivino “ferme” nella vasca.

Questo sembra assurdo ma non è così; possiamo regolare la pressione all’uscita del bombolone in maniera tale che sia di poco superiore all’atmosfera e quindi non “spari “ la bolla nella soluzione ma semplicemente la lasci gorgogliare facendole raggiungere un equilibrio che dipende esclusivamente dal regime di moto.

Flusso di insieme

Il flusso totale è la somma di due contributi: il flusso d’insieme e il flusso diffusivo.

E’ buona approssimazione considerare il flusso d’insieme nullo per via del fatto che la quantità di gas è molto piccola rispetto a quella di liquido fermo e ciò ci permette di non considerare quel termine nell’equazione .

Tutto è fatto comunque nel senso di migliorare la sicurezza del risultato finale, infatti il flusso totale risulta inevitabilmente minore.

Velocità di reazione

Le specie reagenti che scegliamo per effettuare la neutralizzazione dei gas da trattare sono le più idonee anche perché hanno tempi di reazione che sono nell’ordine della frazione di secondo.

Questo implica che il processo è regolato dal tempo che i reagenti impiegano ad incontrarsi.

L’esperienza ci dice che in una vasca di un metro cubo di soluzione con un metro di battente che viene sfruttata solo fino all’80% della sua potenzialità per ragioni cautelative questo fenomeno è praticamente istantaneo.

Geometria monodimensionale

Scegliendo un diffusore di fondo che distribuisca uniformemente il gas sulla sezione orizzontale possiamo considerare il fenomeno solo sull'asse verticale, quello del battente.

Velocità terminale della bolla

Per determinare il regime di moto è necessario conoscere la velocità della bolla.

Approssimarla con la velocità terminale, e cioè quella che la bolla possiede quando sono in equilibrio tutte le forze a cui è sottoposta, è un ipotesi peggiorativa se riferita ai calcoli che dobbiamo effettuare sul battente in un quanto riduce il tempo di contatto.

Interferenze fra le bolle

Si è deciso di trascurare le coalescenze, l'effetto sciame e altri fenomeni caratteristici dei gas in movimento in liquidi turbolenti perché, come vedremo, siamo ben lontani dalla turbolenza, non vi sono agitatori e la nostra soluzione è ferma, e in queste condizioni questi fenomeni non hanno influenze sul processo.

Regime pseudostazionario

Le quantità di gas ridotte che trattiamo di volta in volta, la temperatura valutabile come costante, la pressione di poco diversa da quella ambiente e il flusso gassoso costante (perché siamo noi a regolarlo) sono elementi che ci permettono di considerare il processo, di volta in volta, stazionario.

3.2 Discussione delle ipotesi

Tutte le ipotesi fatte sono ininfluenti oppure peggiorative ai fini del risultato finale.

Si è cercato di non compromettere il lavoro svolto con considerazioni semplicistiche ma si è tenuto sempre come riferimento l'idea di peggiorare il calcolo in maniera che il valore trovato fosse al più superiore a quello reale.

Questo comporta l'assoluta sicurezza dell'impianto, in grado di smaltire le quantità di gas considerate che ricordiamo essere comunque piccole in quanto trattasi di bombole esauste, destinate a smaltimento e quindi spesso quasi vuote.

3.3 Calcoli numerici

Valutiamo il regime di moto:

$$\mathbf{Re} = \frac{\mathbf{v_t \bullet \rho_s \bullet d_b}}{\boldsymbol{\mu_s}} = \frac{\mathbf{v_t \bullet d_b}}{\boldsymbol{\nu_s}}$$

dove **Re** è il numero di Reynolds che stabilisce il regime di moto a seconda del suo valore.
I pedici **s** e **b** stanno ad indicare rispettivamente caratteristiche legate alla soluzione e alla bolla, sostanzialmente distinguono le due fasi nel processo: liquida e gassosa.
Determiniamo $\mathbf{v_t}$ con un semplice bilancio delle forze che agiscono sulla bolla quando questa si trova nella soluzione.

$$\mathbf{R + P - A = 0}$$

dove **R** è la resistenza al moto, **P** è la forza peso e **A** è la spinta di Archimede, forza di galleggiamento.

$$\mathbf{R = \rho_s \bullet v_t \bullet S \bullet C_D / 2}$$

$$\mathbf{P = \rho_b \bullet g \bullet V_b}$$

$$\mathbf{A = \rho_s \bullet g \bullet V_b}$$

dove $\mathbf{v_t}$ è la velocità terminale delle bolle, **S** la sezione orizzontale delle bolle, quella su cui si esercita la forza resistente, $\mathbf{C_D}$ è un coefficiente che dipende dal regime di moto, **g** è l'accelerazione gravitazionale e $\mathbf{V_b}$ il volume della bolla.
Per ottenere il valore $\mathbf{v_t}$ dobbiamo provare a considerare un regime di moto, per esempio imtermedio fra viscoso e turbolento, in tale ipotesi $\mathbf{C_D = 18,5 / (Re)^{2/3}}$. Dovremo poi controllare se l'ipotesi fatta è verificata.
Semplifico e ottengo:

$$\mathbf{v_t} = \frac{\mathbf{4 \bullet g^{3/4} \bullet d_b^{5/3}}}{\mathbf{18,5 \bullet 3 \bullet \nu_s^{1/2}}} \cong \mathbf{0.53\ cm/s}$$

Ne consegue **Re ≅ 10.6** ed è quindi verificata la nostra ipotesi di regime intermedio (deve essere 1< Re < 1000).
Possiamo ora calcolare il tempo di contatto $\mathbf{t_c}$ che sarà, come visto, più basso di quello reale ma comunque indicativo per valutare la sicurezza della nostra proposta.

$$\mathbf{t_s} = \frac{\mathbf{b}}{\mathbf{v_t}} \cong \mathbf{118,68\ s} \cong \mathbf{2\ min}$$

dove b è il battente liquido di cui al massimo disponiamo.

Questo risultato è fondamentale per i nostri ragionamenti; confrontandolo con i tempi di reazione e di diffusione possiamo calcolare il battente necessario al processo.
A questo punto inevitabilmente le strade si separano a seconda che si abbia a che fare con una reazione di neutralizzazione o un semplice assorbimento per diffusione.
Nella realtà è probabile che spesso coesistano i due processi ma questo non ci preoccupa in quanto il tempo impiegato sarà comunque minore del maggiore dei due.

1. Reazione chimica

In questo caso il problema è di facile risoluzione in quanto la velocità di reazione dipende in maniera diretta dalle concentrazioni dei reagenti e dall'ordine di reazione.
Quando l'ordine è 1 la reazione avviene in un passaggio ed è praticamente istantanea; dato che siamo noi a scegliere la soluzione in cui gorgogliare il gas ci siamo messi nelle condizioni migliori possibili.
Per reazioni di questo tipo si parla, in ordine di grandezza, di un tempo $t_r \cong \mathbf{10^{-3}\ s}$.
Considerando in maniera estremamente cautelativa il decremento di velocità dovuto all'impoverimento della soluzione, che per altro non è mai inferiore al 20% della concentrazione di reagente, ipotizziamo $\mathbf{t_r = 0{,}1\ s}$.
Si potrebbe pensare che il trasporto del liquido in fase gassosa sia il processo controllante, cioè quello lento, ma non è così.
Il tempo di saturazione di una bolla in un battente liquido è dato dalla seguente relazione espressa in funzione delle dimensioni e della diffusività:

$$\mathbf{t_s = \frac{\delta_b^{\,2}}{D} = \frac{d_b^{\,2}}{36 \bullet D} = 5 \bullet 10^{-3}\ s}$$

Come si può vedere questo tempo è più piccolo di quello che abbiamo ipotizzato quindi molto semplicemente otteniamo:

$$\mathbf{\frac{t_r}{t_c} = 8.5 \bullet 10^{-4} = 0{,}085\%}$$

Ne consegue che, risalendo, la bolla dopo solo $\mathbf{b_1 = 0{,}085\ cm}$ di soluzione la bolla ha già completamente reagito.

2. Diffusione semplice

La soluzione diventa in questo caso più complessa.

Il fenomeno che si sviluppa fra la soluzione e la bolla è uno scambio di massa, facilitato dal fatto che la soluzione è stata scelta opportunamente affinché sia in grado di "sciogliere" grandi quantità del gas trattato.

Abbiamo a che fare con due flussi distinti che tendono entrambi all'equilibrio tra le fasi: una quantità di liquido entrerà nella bolla fino a raggiungere la saturazione della stessa, che come abbiamo già visto è un fenomeno istantaneo, mentre il gas tenderà a disperdersi nel liquido per via della differenza di concentrazione.

Il secondo fenomeno, essendo il più lento, è quello che fissa il tempo di diffusione che stiamo cercando di determinare.

La forza motrice di questo fenomeno è appunto la diversa concentrazione di gas fra l'interno della bolla e il liquido; questa è valutabile a seconda dei tempi di esercizio della vasca ma comunque non sarà mai inferiore al 20% rispetto al raggiungimento della saturazione del liquido.

Scriviamo quindi il bilancio locale di massa sulla bolla:

$$\partial n / \partial t = - N_b \bullet S_b \qquad \text{con}$$

$$N_b = k_{cb} \bullet (m x_b - y_b) = k_{cb} \bullet C^*_A \qquad n = V_b \bullet C_{As}$$

Dove:

- N_b = flusso di gas verso l'esterno della bolla
- S_b = superficie della bolla
- V_b = volume della bolla
- C^*_A = concentrazione di gas sulla superficie della bolla (satura)
- C_{As} = concentrazione di gas nella soluzione
- k_{cb} = coefficiente di trasporto = $Sh \bullet D_A / d_b$
- **Sh** = numero (adimensionale) di Shmidt, regola il trasporto di massa

Sostituendo e semplificando ottengo un'equazione differenziale lineare che va integrata in funzione del diametro della bolla che varia dalla dimensione iniziale ($d_b = 0{,}2$ cm) a quella finale ($d_b = 0$).

$$C_{As} \bullet \frac{d_b}{2} = Sh \bullet D_A \bullet C^*_A \bullet t_d$$

Con un semplice passaggio matematico si esplicita il tempo di diffusione completa della bolla e lo si quantifica con i dati in nostro possesso.

$$t_d = \frac{d_b \bullet C_{Ab}}{2 \bullet C^*_A \bullet Sh \bullet D_A} \cong 1{,}6\ s$$

A questo punto si può valutare il rapporto fra i tempi e conseguentemente il battente necessario b_2.

$$\frac{t_d}{t_c} = 0{,}14 = 1{,}4\%$$

Quindi $\mathbf{b_2 = 1{,}4\ cm}$, risultato confortante.

3.4 Attendibilità dei risultati

I valori che abbiamo ottenuto non sono quelli reali ma sono comunque frutto di ragionamenti ed ipotesi fatte con scopo di semplificare i calcoli ma sempre nell'ottica di arrivare a qualcosa di veramente significativo.

A rischio di essere ripetitivi ci preme ricordare che tutte le semplificazioni sono peggiorative per quanto riguarda il valore del battente che realmente deve essere inferiore a quello trovato.

Siamo, per questo motivo, convinti che i valori ottenuti siano significativi per il fenomeno studiato e possano servire per effettuare una proposta concreta di adeguamento della sicurezza dell'impianto alle osservazioni mosse in sede di conferenza dei servizi dagli Enti Preposti.

4. Conclusioni

A nostro avviso le considerazioni fatte portano ad una semplice conclusione: un metro di battente risulta essere più che sufficiente a garantire la totale sicurezza dell'impianto e cioè che non vi siano fouriuscite pericolose di gas indesiderati dal pelo libero della soluzione.

Per essere completamente al sicuro da ogni tipo di inconveniente e per redere più semplici i prelievi per le analisi sull'atmosfera della vasca proponiamo di sistemare un secondo recipiente in serie al primo.

Sul raccordo a tenuta verrà posizionato una derivazione a T dalla quale si potrà con semplicità prelevare i campioni per il laboratorio.

La seconda vasca ha chiaramente anche la valenza di aggiungere un altro metro di battente al nostro sistema e, se non vi sono state emergenze durante la conduzione dell'impianto, quando la prima vasca avrà raggiunto l'80% circa della sua capacità assorbente scalerà in prima posizione.

5. Procedura di scarico del gas

Alcune puntualizzazioni vanno fornite anche sulla metodologia con la quale si vuole scaricare il contenuto del recipiente a pressione nella vasca.

In sede di conferenza dei servizi sono state mosse alcune perplessità sull'efficienza dei lavaggi ad azoto previsti per far defluire completamente i gas pericolosi.

A tale proposito, per fugare ogni possibile dubbio, si è deciso di installare un pompa in grado di tirare a vuoto il recipiente dopo che sono comunque stati effettuati i lavaggi previsti. La pompa provvederà dunque ad assicurare l'invio della totalità dei gas al trattamento.

In un secondo momento una valvola si aprirà gradualmente permettendo l'ingresso di aria pulita fino a riportare la pressione interna al valore atmosferico, in maniera da consentire l'apertura del recipiente ad operazioni concluse.

Durante la stesura di questo lavoro si fa riferimento ad un riduttore di pressione collegato alla mandata del recipiente di espansione dei gas che non compariva nella documentazione precedente.

Si è deciso di installarlo per tenere sotto controllo la portata del flusso di gas, avendo in tal modo, la possibilità di regolarlo per ottenere che le bolle non vengano sparate nella vasca ma vi defluiscano quasi naturalmente.

Viene in questo modo verificata l'ipotesi sulla velocità delle bolle nel liquido.