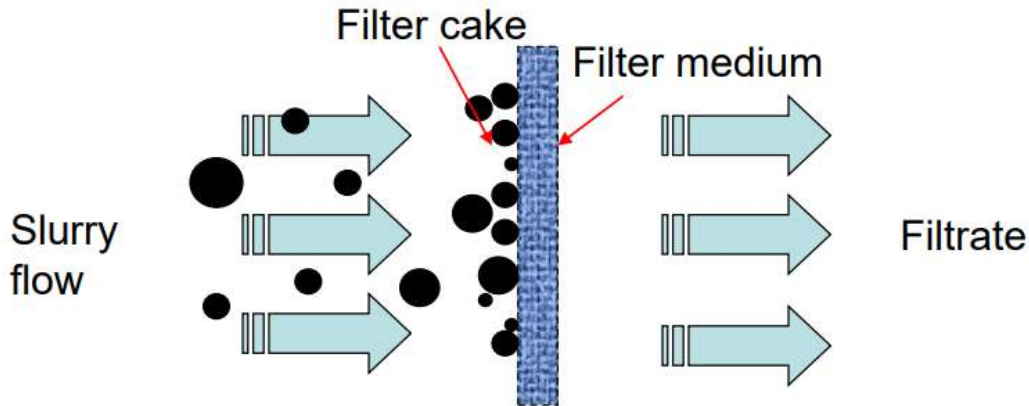


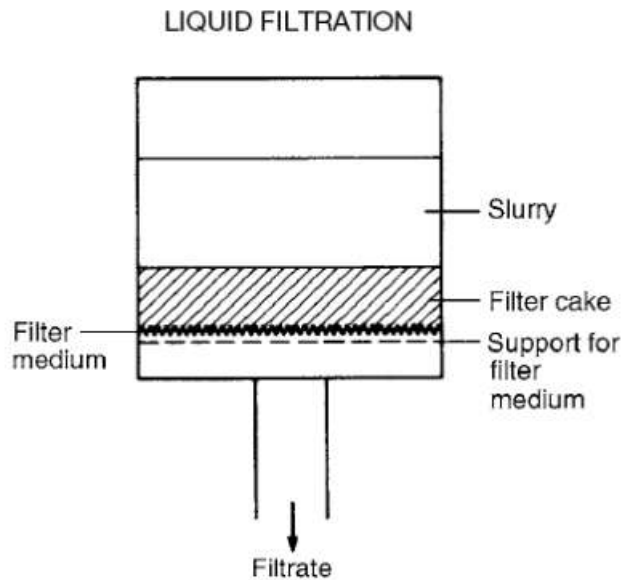
محاسبات فیلتر پرس

فیلتراسیون به معنای جداسازی جامدات از مایعات با عبور یک سوسپانسیون از محیط نفوذپذیر که ذرات را در خود نگه می‌دارد، است.



- ← در سراسر محیط باید یک اُفت فشار اعمال شود. (توری / پارچه)
- ← جریان سیال از سوراخ‌های کوچک توری و پارچه
- ← فیلتراسیون می‌تواند باعث حفظ ذرات بزرگ جامد به‌عنوان یک فاز جداگانه شود. (کیک متخلخل)
- ← فیلتراسیون می‌تواند فیلتر شفاف را عبور دهد.
- ← کیک فیلتر متخلخل به‌عنوان یک فیلتر برای ذرات معلق عمل می‌کند.
- ← با مسدود شدن محیط فیلتر یا تشکیل کیک، مقاومت جریان افزایش می‌یابد.
- ← محصول با ارزش ممکن است فیلتر شفاف از فیلتراسیون یا کیک جامد باشد.
- ← فیلتراسیون اساساً یک عملیات مکانیکی است.
- ← فیلتراسیون به انرژی کمتری نسبت به تبخیر یا خشک کردن نیاز دارد.
- ← فیلتراسیون می‌تواند برای حذف ذرات جامد از آب میوه‌ها، عصاره‌ها، روغن‌های گیاهی، نوشیدنی‌های تخمیر شده، روغن پخت‌وپز، ناخالصی‌های رسوب شیمیایی، شیر سویا، چربی‌ها و... استفاده شود.

اصل فیلتراسیون



- ← کیک به صورت تدریجی روی محیط کشت تجمع پیدا می کند و در نهایت باعث افزایش مقاومت جریان خواهد شد.
- ← در طول دوره اولیه جریان، ذرات در لایه های سطحی پارچه رسوب می کنند تا باعث تشکیل محیط واقعی فیلتر شوند.

مهم ترین عواملی که بر میزان فیلتراسیون تأثیر می گذارند عبارتند از:

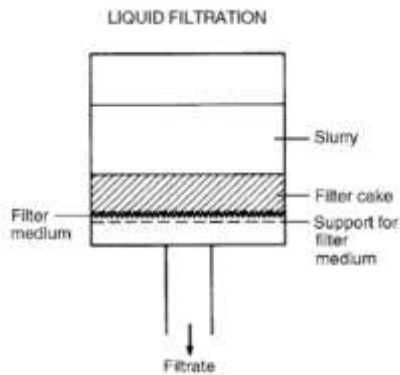
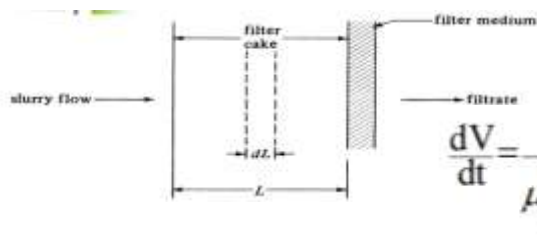


Figure 7.1. Principle of filtration.

۱. افت فشار از محل تغذیه به فاصله دورتر از محیط فیلتر
۲. مساحت سطح فیلتر
۳. ویسکوزیته فیلتر
۴. مقاومت کیک فیلتر
۵. مقاومت محیط فیلتر
۶. لایه های اولیه کیک

با گذشت زمان در طول فیلتراسیون دو حالت ممکن است رخ دهند که شامل گزینه‌های زیر می‌شوند:



۱. سرعت جریان فیلتر کاهش پیدا می‌کند.

۲. اُفت فشار افزایش پیدا می‌کند.

فیلتراسیون با فشار ثابت

← اُفت فشار ثابت نگه داشته می‌شود.

← به نرخ جریان اجازه داده می‌شود با زمان کاهش یابد.

فیلتراسیون با نرخ ثابت (این روش در مقایسه با گزینه قبلی کمتر رایج است)

← اُفت فشار به تدریج افزایش پیدا می‌کند.

مایع از ۲ مقاومت به صورت سری عبور می‌کند:

← مقاومت کیک (در شروع صفر و با گذشت زمان افزایش می‌یابد)

← مقاومت محیط کشت فیلتر (در مراحل اولیه فیلتراسیون ضروری است)

در طول شستشو هر دو مقاومت میزان ثابتی هستند و مقاومت محیط کشت فیلتر نیز معمولاً بسیار ناچیز است.

تئوری اساسی فیلتراسیون

میزان فیلتراسیون = نیروی محرکه / مقاومت

در فرمول فوق هر کدام از علائم معنای مختلفی دارند که می‌توانید در زیر آن‌ها را مشاهده کنید:

← L : ضخامت کیک (بر حسب متر)

← Δp : اُفت فشار کل $(N/m^2) = \Delta p_{\text{cake}} + \Delta p_{\text{filter medium}}$

← A : سطح مقطع فیلتر (بر حسب متر مربع)

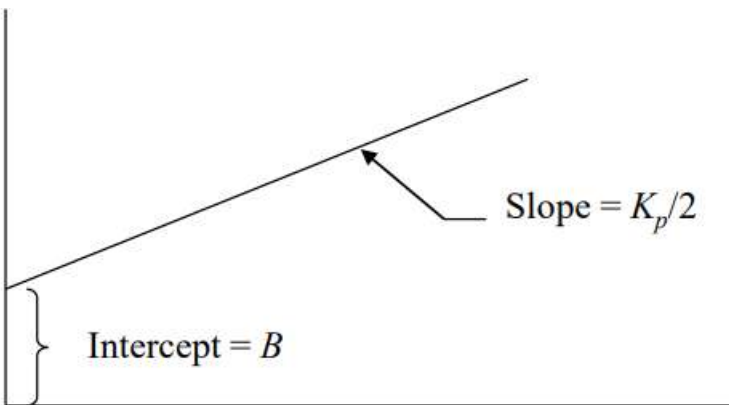
← α : مقاومت خاص کیک (بر حسب متر بر کیلوگرم)

- ← μ : ویسکوزیته فیلتر (بر حسب Pa.s)
- ← C_s : جرم خشک کیک رسوب شده در واحد حجم فیلتر (بر حسب kg solids/m³)
- ← V : حجم فیلتر (بر حسب متر مکعب)
- ← R_m : مقاومت محیط فیلتر در برابر جریان فیلتر (بر حسب m⁻¹)

برای به دست آوردن زمان فیلتراسیون از فرمول زیر استفاده می شود:

$$T = \frac{K_p V^2}{2} + BV$$

در این مسئله برای محاسبه K_p و B از فرمول های جداگانه استفاده می شود:



$$K_p = \frac{\mu \alpha C_s}{A^2 (-\Delta p)}$$

$$B = \frac{\mu}{A (-\Delta p)} R_m$$

هر کدام از نشانه ها مفاهیم خاص خود را دارند که در بخش زیر به آن ها اشاره کرده ایم:

- ← Δp : آفت فشار کل (N/m²) = $\Delta p_{\text{cake}} + \Delta p_{\text{filter medium}}$
- ← A : سطح مقطع فیلتر (بر حسب متر مربع)
- ← α : مقاومت خاص کیک (بر حسب متر بر کیلوگرم)
- ← μ : ویسکوزیته فیلتر (بر حسب Pa.s)
- ← C_s : جرم خشک کیک رسوب شده در واحد حجم فیلتر (بر حسب kg solids/m³)
- ← V : حجم فیلتر (بر حسب متر مکعب)
- ← R_m : مقاومت محیط فیلتر در برابر جریان فیلتر (بر حسب m⁻¹)

این عکس نشان‌دهنده نموداری است که بر اساس آن ثابت‌ها در یک فیلتراسیون با فشار ثابت تعیین می‌شوند.

مثال شماره یک (مقیاس آزمایشگاهی)

داده‌های مربوط به فیلتراسیون آزمایشگاهی دوغاب CaCO_3 در آب با دمای $298,2 \text{ K}$ با فشار ثابت 338 kN/m^2 گزارش شده است. سطح فیلتر صفحه و قاب پرس $A=0,0439$ متر مربع است و غلظت دوغاب نیز $C_s=23,47 \text{ kg/m}^3$ محاسبه شده است. ثابت α و R_m را از داده‌های تجربی محاسبه کنید، جایی که t زمان بر حسب S و V حجم فیلتر جمع‌آوری شده بر حسب m^3 است.

t, sec	4.4	9.5	16.3	24.6	34.7	46.1	59.0	73.6	89.4	107.3
$V \times 10^3 \text{ m}^3$	0.48	1.00	1.501	2.0	2.498	3.002	3.506	4.00	4.502	5.009

داده‌های مثال یک فیلتراسیون فشار ثابت

- ← دوغاب CaCO_3 در آبی با دمای $298,2$ کلوین یا 25 درجه سانتی‌گراد
- ← مقدار A برابر با $0,0439$ متر مربع است.
- ← مقدار C_s در این مسئله $23,47 \text{ kg/m}^3$ محاسبه شده است.
- ← فشار ثابت 338 kN/m^2 گزارش شده است.

جدول داده شده درباره این مسئله به شرح زیر است:

t(s)	V(m ³)
0	0
4.4	0.498
9.5	1.000
16.3	1.501
24.6	2.000
34.7	2.498
46.1	3.002
59.0	3.506
73.6	4.004
89.4	4.502
107.3	5.009

راه حل مسئله

برای حل این مسئله می توان از دو فرمول زیر استفاده کرد که در بخش های بالا به صورت کامل به آن اشاره کردیم:

$$T = \frac{K_p V^2}{2} + BV$$

همچنین برای ساده سازی می توان فرمول فوق را به شکل زیر نوشت:

$$\frac{t}{v} = \frac{K_p}{2} V + B$$

حالا به حل مسئله می پردازیم:

$$K_p / \lambda = 3,00 \times 10^6 \text{ s/m}^2$$

$$K_p = 6,00 \times 10^6 \text{ s/m}^2 = \frac{\mu \alpha c s}{A^2 (-\Delta p)}$$

$$B = 6400 \text{ s/m}^2 = \frac{\mu}{A (-\Delta p)} R_m$$

بر اساس جدولی که داده شده است:

$$\mu = 8,937 \times 10^{-4} \text{ Pa.s}$$

حالا تمام مقادیر شناخته شده را جای گذاری می کنیم:

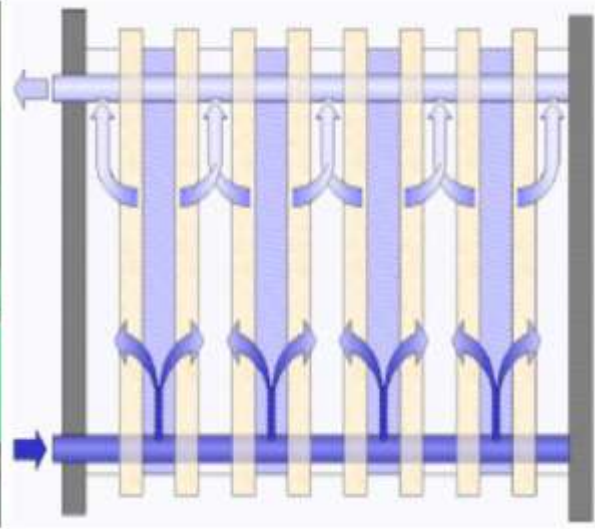
$$R_m = 10,63 \times 10^{10} \text{ m}^{-1}$$

$$\alpha = 1,863 \times 10^{11} \text{ m/kg}$$

مثال شماره دو (مقیاس بزرگ تر)

همان دوغاب مورد استفاده در مثال یک باید در یک پرس صفحه و قاب با ۲۰ قاب و ۰,۸۷۳ متر مربع مساحت فیلتر شود. همین فشار در فیلتراسیون فشار ثابت استفاده خواهد شد. با فرض یکسان بودن خواص فیلتر کیک و پارچه فیلتر، زمان لازم برای بازیابی ۳,۳۷ متر مکعب فیلتر را محاسبه کنید.

t, sec	4.4	9.5	16.3	24.6	34.7	46.1	59.0	73.6	89.4	107.3
$V \times 10^3 \text{ m}^3$	0.48	1.00	1.501	2.0	2.498	3.002	3.506	4.00	4.502	5.009



پرس صفحه و قاب (فرایند ناپیوسته)

داده‌های مثال شماره دو فیلتراسیون فشار ثابت

- ← دوغاب CaCO_3 در آبی با دمای $298,2$ کلوین یا 25 درجه سانتی‌گراد
- ← مقدار A برابر با $0,0439$ متر مربع است.
- ← مقدار C_s در این مسئله $23,47 \text{ kg/m}^3$ محاسبه شده است.
- ← فشار ثابت 338 kN/m^2 گزارش شده است.

راه‌حل

$$K_p = 6,00 \times 10^6 \text{ s/m}^2 = \frac{\mu \alpha c_s}{A^2 (-\Delta p)}$$

$$B = 6400 \text{ s/m}^2 = \frac{\mu}{A (-\Delta p)} Rm$$

بر اساس جدولی که داده شده است:

$$\mu = 8,937 \times 10^{-4} \text{ Pa.s}$$

حالا تمام مقادیر شناخته شده را جای گذاری می‌کنیم:

$$K_p = 37,93 \text{ s/m}^2$$

$$B = 16,10 \text{ s/m}^2$$

$$T = \frac{K p V^2}{2} + BV = \frac{3793 (3.37)^2}{2} + 16.1(3.37) = 269.7s$$

شستشوی کیک فیلتر

برای محاسبه فیلتر برگ از فرمول زیر استفاده می‌شود:

همچنین برای محاسبه فیلتر صفحه و قاب می‌توان به شکل زیر عمل کرد:

برای محاسبه زمان شستشو می‌توان به صورت زیر جلو رفت:

$$T = \frac{\text{washing liquid}}{\text{rate of washing}}$$

در فرمول بالا منظور از rate of washing فرمول $f \left(\frac{dv}{dt}\right)$ است.

به منظور به دست آوردن زمان کل چرخه فیلتر باید زمان فیلتر، زمان شستشو و زمان تمیز کردن را با یکدیگر جمع کرد؛ به عبارتی:

$$\text{زمان کل فیلتر چرخه} = \text{زمان فیلتر} + \text{زمان شستشو} + \text{زمان تمیز کردن}$$

لازم به ذکر است هنگام تمیز کردن فیلتر در ابتدا باید کیک را بردارید و سپس نسبت به این فرایند اقدام کنید. بعد از تمیز کردن مجدداً آن‌ها را کنار هم بگذارید.

منظور از V_f حجم تمام فیلتر برای کل دوره پایان فیلتراسیون است که به صورت متر مکعب بیان می‌شود.

مثال شماره سه

در پایان چرخه فیلتراسیون در مثال قبلی، حجم کل فیلتر ۳,۳۷ متر مکعب در مجموع زمان ۲۶۹,۷ ثانیه جمع‌آوری می‌شود. کیک باید در پرس صفحه و قاب و با استفاده از حجم آب شستشو برابر با ۱۰ درصد حجم

فیلتر شسته شود. زمان شستشو و کل زمان چرخه فیلتر را محاسبه کنید؛ به شرطی که تمیز کردن فیلتر ۲۰ دقیقه طول بکشد.

راه حل

برای حل این مسئله باید از فرمول زمان شستشو استفاده شود که به شرح زیر است:

$$T = \frac{\text{washing liquid}}{\text{rate of washing}}$$

زمان کل فیلتر چرخه = زمان فیلتر + زمان شستشو + زمان تمیز کردن

داده‌های مثال شماره سه فیلتراسیون فشار ثابت

- $V = 3,37 \text{ m}^3$ filtrate
- filtration time = ۲۶۹,۷s
- Washing liquid = ۱۰٪ filtrate volume $\text{m}^3 = 0,337 \text{ m}^3$
- Time washing = ?
- Total filter cycle = ?
- Cleaning time = ۲۰ min

$$K_p = 37,93 \text{ s/m}^3$$

$$B = 16,10 \text{ s/m}^3$$

برای محاسبه میزان شستشو باید از فرمول زیر بهره برد:

$$\left(\frac{dv}{dt}\right) f = \frac{1}{4} \frac{1}{3793(3.37)+16.1} = 1.737 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T = \frac{\text{washing liquid}}{\text{rate of washing}} = \frac{0.337}{1.737*10^{-3}} = 194 \text{ s}$$

زمان کل فیلتر چرخه = زمان فیلتر + زمان شستشو + زمان تمیز کردن

حالا تمام مقادیر شناخته شده را جای گذاری می کنیم:

$$Total\ cycle\ filter\ time = 269,7s + 194s + (20 \times 60)s = 1663,7s = 27,73\ min$$

تجهیزات فیلتراسیون

تجمع و حذف کیک در حالت ناپیوسته

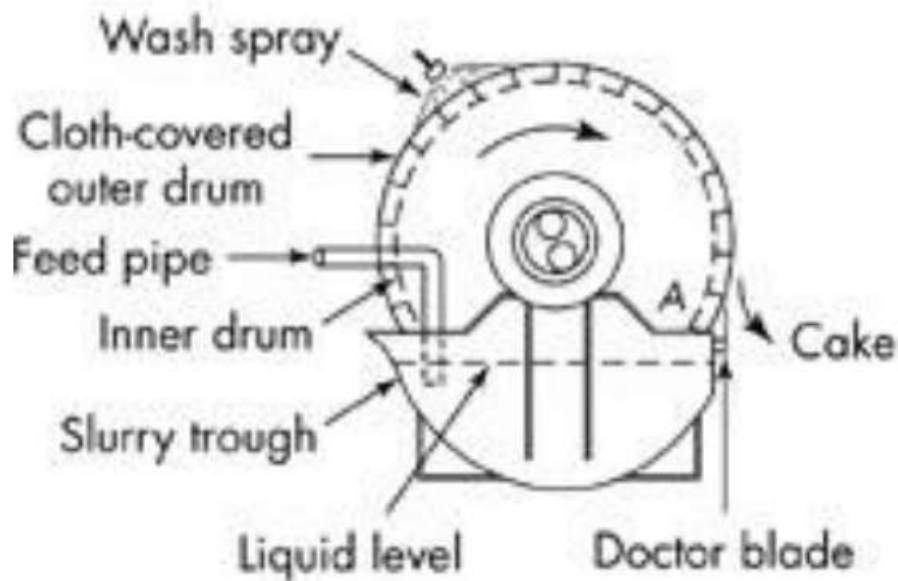
- کیف فیلتر
- [فیلتر پرس](#)
- فیلتر فشار برگ
- فیلتر برگ و کیوم

تجمع و حذف مداوم کیک

- فیلتر پیوسته افقی
- فیلتر درام دوار



فیلتر درام چرخشی



فیلتراسیون فشار ثابت (پیوسته)

خوراک، فیلتر و کیک با نرخ ثابت حرکت می کنند.

مقاومت محیط فیلتر بسیار ناچیز است و می توان آن را صفر در نظر گرفت.

زمان لازم برای تشکیل کیک از فرمول زیر محاسبه می شود:

$$T = K_p \frac{V_2}{2}$$

همچنین به منظور محاسبه جریان فیلتر می توان از فرمول زیر بهره برد:

$$\frac{V_2}{2} = W^c \frac{X}{CS}$$

داده های فرمول در قسمت پایین آورده شده اند:

$$T_c = \text{کل زمان چرخه}$$

$$W = \text{جریان جرمی دوغاب}$$

$$C_x = \text{غلظت دوغاب در کسر جرمی}$$

$C_s =$ توده خشک رسوب شده کیک در واحد حجم فیلتر (فرمولی که برای این امر استفاده می‌شود، $\frac{PCx}{1-mcx}$ است)

$\rho =$ چگالی فیلتر (بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب بیان می‌شود)

$M =$ نسبت جرم کیک مرطوب به کیک خشک (بر حسب کیلوگرم بیان می‌شود)

مقاومت محیط فیلتر بسیار ناچیز است و می‌توان آن را صفر در نظر گرفت.

جریان فیلتر در هر ناحیه

$$\frac{V}{Atc} = \left(\frac{2f(-\Delta p)}{tc\mu\alpha c_s} \right)^{1/2}$$

در این فرمول منظور از f کسری از چرخه مورد استفاده برای تشکیل کیک است. همچنین در درام چرخشی منظور از f کسر غوطه‌ور شدن سطح درام در دوغاب است.

$$T = ft_c = \frac{f}{n}$$

در این فرمول منظور از n سرعت درام است.

زمان‌های چرخه کوتاه و / یا مقاومت محیط فیلتر \ll بزرگ

$$t = ft_c = K_p \frac{V^2}{2} + BV \quad \frac{V}{At_c} = \frac{-R_m/t_c + \left[\left(R_m^2/t_c^2 \right) + 2\alpha c_s (-\Delta p) f / (t_c \mu) \right]^{1/2}}{\alpha c_s}$$

یک فیلتر درام دوار که ۳۳ درصد فروبری در دوغاب دارد، در دوغاب آبی CaCO_3 که در مثال شماره یک به آن اشاره کردیم استفاده می‌شود. اُفت فشار به‌دست‌آمده ۶۷ کیلو پاسکال است. غلظت مواد جامد در دوغاب ۰٫۱۹۱ کیلوگرم است. همچنین کیک فیلتر به‌گونه‌ای است جرم کیک مرطوب / کیک خشک ۲ کیلوگرم است. چگالی و ویسکوزیته فیلتر را می‌توان به‌عنوان غلظت در آب‌هایی با دمای ۲۹۸٫۲ کلوین در نظر گرفت.

مساحت فیلتر مورد نیاز برای فیلتر کردن ۰٫۷۷۸ کیلوگرم دوغاب در ثانیه را محاسبه کنید. زمان چرخه فیلتر ۲۵۰ ثانیه است. مقاومت کیک خاص را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$\alpha = (4,37 \times 10^{-9}) \Delta P^{0.3}$$

ΔP - بر حسب پاسکال و α بر حسب m/kg است.

در صورتی که مراحل اولیه فیلتراسیون و مقاومت کیک از یکدیگر کم شوند، جواب به دست آمده بسیار ناچیز است. دوغاب توسط یک پمپ جابه‌جایی مثبت به فیلتر وارد می‌شود.

برای نرخ ثابت $\left(\frac{dv}{dt}\right)$ در m^3/s می‌توان به شکل زیر عمل کرد:

$$-\Delta p = \left[\frac{\mu \alpha_s}{A^2} \frac{dV}{dt} \right] V + \left[\frac{\mu R_m}{A} \frac{dV}{dt} \right] = K_V V + C$$

K_V بر حسب N/m^5 و C بر حسب N/m^2 است.

کیک تراکم‌ناپذیر است:

زمانی که فشار افزایش پیدا کند، ضخامت کیک و حجم فیلتر نیز بیشتر می‌شود.

برای محاسبه حجم کلی می‌توان از فرمول زیر استفاده کرد:

$$V = t \frac{dv}{dt}$$

بنابراین:

$$-\Delta p = \left[\frac{\mu \alpha_s}{A^2} \left(\frac{dV}{dt} \right)^2 \right] t + \left[\frac{\mu R_m}{A} \frac{dV}{dt} \right]$$

مثال شماره هفت

معادله فیلتراسیون برای فیلتراسیون در فشار ثابت ۲۶۶,۸ کیلوپاسکال به صورت زیر است:

$$t/V = 6,10 \times 10^{-5} V + 0,01$$

که در آن t بر حسب ثانیه، ΔP - بر حسب $psia$ و حجم بر حسب لیتر است. مقاومت ویژه کیک مستقل از فشار است. اگر فیلتراسیون با سرعت ثابت ۱۰ لیتر در ثانیه اجرا شود، چقدر طول می‌کشد تا به ۵۰ $psia$ برسد؟