

تصفیه و فرآوری آب جهت بویلرهای بخار

بخش اول: منابع و شیمی آب

با وجود مقاله های بسیار در ارتباط با آماده سازی آب تغذیه بویلرهای بخار ، برداشتهای اشتباهی در این رابطه وجود دارد. شیمی آب مقوله پیچیده ای است که به مهارت یک شیمیدان ماهر نیازمند است.

در این مقاله ، بعلت و چگونگی آماده سازی آب تغذیه بویلر اشاره مختصری می گردد ابتدا ، راجع به سختی گیری آب تغذیه در واحدهای بویلر فشار ضعیف بحث خواهیم کرد که هدف از آن جلوگیری از تشکیل رسوب در قسمتهای گرم بویلر است و سپس به آب تغذیه واحدهای بویلر فشار قوی خواهیم پرداخت.

عموما آب تغذیه بویلر ، ترکیبی از آب تغذیه و کندانس برگشتی است. آب کندانس ، بخار چگالیده شده یا همان آب مقطر است و می تواند مجددا همراه با مقدار کمینه ای از افزودنی ها بعنوان آب تغذیه استفاده شود. بمنظور جایگزینی مقدار هدر رفت آب ، افزودن آب تغذیه در سیکل آب و بخار ضروری است.

اتلاف کندانس به دلایل ذیل اتفاق می افتد:

-تزریق بخار به منظور گرم کردن ، بطور مثال تزریق در یک تانک آب

-کندانس آلوده که به دلیل آلوده شدن به وسیله روغن یا فرآیندهای شیمیایی قابل استفاده نخواهد بود.

-کندانسی که بازگشت داده نشده است

-بلودادن بویلر

-نشتی بخار یا آب

-تبخیر آب و بخار فلاش به اتمسفر



منابع آب تغذیه

منابع اصلی آب تغذیه عبارتند از:

- آبهای زیرزمینی مانند آب چاه و چشمه

- آبهای سطحی مانند آب رودخانه ها ، دریاها و تالابها

- آب آشامیدنی (آب شهری)

منابع طبیعی آب را نمی توان مستقیماً به عنوان آب تغذیه جهت بویلرها استفاده نمود. اغلب آبهای زیرزمینی و سطحی با مواد مختلفی آلوده شده اند؛

بنابراین استفاده از آنها بدون آماده سازی ، می تواند به واحد بویلر آسیب وارد نماید. حتی آب آشامیدنی نیز برای استفاده کردن بعنوان آب تغذیه بویلر ، مناسب نیست. آب تغذیه احتیاج به آماده سازی و بررسی دارد. علاوه بر بویلرهای بخار ، لوله های آب تغذیه و کندانس نیز باید در مقابل خوردگی محافظت شوند.

شیمی آب

در این مقاله ، تا حد امکان به جای فرمولها و نشانه های شیمیایی بهمراه فرمولهای داخل پرانتز استفاده خواهیم کرد.

ترکیبات شیمیایی مندرج در جدول 1 با نسبتهای متفاوت در آب یافت می شوند.

جدول 1

Designation	Chemical formula
Calcium hydrocarbonate	$Ca(HCO_3)_2$
Magnesium hydrocarbonate	$Mg(HCO_3)_2$
Calcium sulphate	$CaSO_4$
Magnesium sulphate	$MgSO_4$
Calcium chloride	$CaCl_2$
Magnesium chloride	$MgCl_2$
Common salt	$NaCl$
Silicic acid	SiO_2

بطور خلاصه می توان گفت که ترکیبات شیمیایی آب عمدتاً شامل منیزیم و کلسیم است که با هیدروکربناتها (بی کربناتها) ، سولفاتها و کلریدها ترکیب شده اند. همچنین سدیم ترکیبی با کلرید و اسیدسیلیسیک نیز جزء این ترکیبات است. ترکیبات کلسیم و منیزیم از اجزای اصلی سختی هستند.

این ترکیبات باید قبل از اینکه آب بتواند بعنوان آب تغذیه استفاده شود. شکسته شوند. مولکولهای نمک حل شده در آب ، به شکل ذرات باردار الکتریکی که یون نامیده می شود ، تقسیم می شوند. هیدروکربنات کلسیم به کلسیم (Ca) و هیدروکربنات (HCO₃) تقسیم می شود. هیدروکربنات منیزیم نیز به همین طریق تقسیم و شکسته می شود. هیدروکربناتهای کلسیم و منیزیم سخت هستند و در آب حل نمی شوند که نشان دهنده سختی کربنات می باشند.

به مجرد گرم شدن آب ، نمکهای مذکور بر روی لوله های بویلر رسوب می کنند. دی اکسید کربن بصورت گازی شکل جدا شده و با کندانس شدن بخار ، آب اسیدی را تشکیل می دهد. مقدار PH سرعت افت می کند و باعث خوردگی شدید اسید کربنیک در لوله های کندانس می شود.

ترکیبات کلسیم و منیزیم شامل سولفات و کلراید سختی بدون کربنات را تشکیل داده و بطور محلول در آب باقی می ماند و تنها زمانی که غلظت این ترکیبات در آب بویلر زیاد شود (بطور مثال در نتیجه بلودان ناکافی) ممکن است باعث رسوب شوند.

سختی نهایی ، حاصل مجموع سختیهای کربنات دار و بدون کربنات است.

ملزومات آب تغذیه

در بویلرهای کم فشار ، جدا کردن سختی کربنات با استفاده از یک مبدل یونی (سختی گیر) کفایت میکند. در صورت کم بودن غلظت کلراید و سدیم ، وجود آنها مشکل جدی محسوب نمی شود.

در بویلرهای فشار بالا ، تا حد امکان باید همه ناخالصی ها زدوده شوند. در این موارد از مبدل یونی پیچیده ای که واحد نمک زدایی نامیده می شود ، استفاده می گردد. بطور کلی هر اندازه فشار بخار بیشتر باشد ، خلوص آب نیز باید افزایش یابد. زمانی که بخار خروجی از بویلر جهت چرخش پره های توربین استفاده می شود ، مطالبات در رابطه با آب تغذیه بویلر افزایش می یابد.

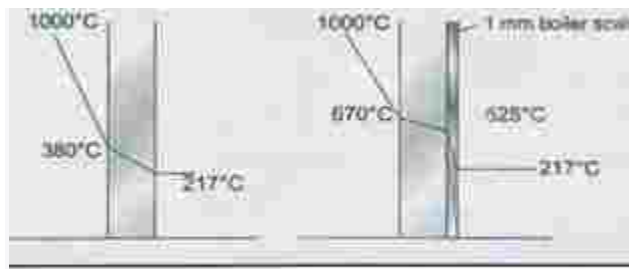
بمنظور بهبود راندمان سختی گیرها در سیستمهای فشار ضعیف (که دارای عملکرد ایده آل نیستند) مقداری مواد شیمیایی اضافه می شود تا سختی های باقیمانده را حذف کند. بدین طریق سختی نمی تواند بر روی لوله های بویلر رسوب کند و بصورت لجن در ته آن جمع می شود. متعاقبا ، این لجن طی فرایند بلودان زنی از کف بویلر تخلیه می شود.

از اورتو فسفاتها و پلی فسفاتها بعنوان عوامل سختی گیری نهایی استفاده می شود. اخیرا بدلائل زیست محیطی استفاده از مواد پلیمری و ترکیبات جدید شایع شده است. ایجاد رسوب بر روی لوله های بویلر موجب کاهش انتقال حرارت و در نتیجه راندمان بویلر می گردد. هرچه لایه های رسوب ضخیم تر شوند دیواره لوله ها داغ تر شده و خطر تخریب آنها جدی می شود (شکل 1)



شکل ۱: لوله شکافته شده بویلر

شکل 2 ، نشان دهنده اختلاف دمای جداره لوله های بویلر در حالت تمییز (حداکثر دمای 380^oC) و در حالت وجود رسوب با ضخامت 1 mm (با دمای 670^oC) است.



شکل ۳: تاثیر رسوبات بر دمای جداره دیگ بخار

اساس عملکرد مبدل‌های یونی جایگزینی یونهای منیزیم و کلسیم با یونهای کم خطرتری مانند یون سدیم و هیدروژن می باشد. این عمل آب را سختی گیری نموده و مواد معدنی موجود در آن را جدا می کند.

یک مبدل یونی در واقع یک مخزن است که با گرانولهای ضد آب پلاستیکی انباشته می شود که گاه فیلتر نیز نامیده می شود. گرانولها قادر به تعویض یونهای جذب شده خود با یونهای موجود در آب هستند. یونهای سدیم یا هیدروژن در رزینها با یونهای کلسیم و منیزیم موجود در آب جایگزین می شوند.

تمام فلزات (Na^+) ، (Ca^{++}) هیدروژن (H^+) موجود در آب دارای بار مثبت هستند باقیمانده های اسیدی (SO_4^{--}) ، (CO_3^{--}) و یونهای هیدروکسید (OH) بار منفی دارند. یون با بار مثبت، کاتیون و یون با بار منفی، آنیون نامیده می شود. در یک محلول خنثی همواره مثبت و منفی وجود دارد. مبدل‌های یونی به دو قسمت اصلی تقسیم می شوند:

-مبدل‌های اسیدی قوی و قوی کاتیونی؛

-مبدل‌های پایه ای ضعیف و قوی آنیونی، این مبدلها اغلب بخشی از آب و یا کل آن را در سیستمهای با یک یا دو فیلتر، نمک زدایی می کنند.

بخش دوم: سختی گیری آب

سختی گیری

معمولا بمنظور سختی گیری آب از یک فیلتر یا مبدل کاتیونی ("مبدل پایه") استفاده می شود (با جایگزینی یونهای کلسیم و منیزیم). بستر رزینی توسط یونهای سدیم موجود در آب نمک معمولی غنی می شود.

در خروجی سختی گیر، تمامی یونهای کلسیم و منیزیم با یونهای سدیم جایگزین شده و آب سختی گیری می شود. فرایند جایگزینی یونها تنها تا مرحله اشباع مشخصی ادامه می یابد. وقتی که تعداد یونهای تعویض شده تقریبا با تعداد یونهای سدیم جذب شده برابر باشد، فیلتر به حداکثر توان جداسازی خود رسیده و دیگر سختی گیری بیشتر امکان پذیر نیست.

Composition of softened water	
Sodium hydrogen carbonate	NaHCO_3
Sodium sulphate	Na_2SO_4
Common salt	NaCl
Silicic acid	SiO_2

Composition of untreated water	
Calcium hydrogen carbonate	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$
Magnesium hydrogen carbonate	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$
Calcium sulphate	CaSO_4
Magnesium sulphate	MgSO_4
Calcium chloride	CaCl_2
Magnesium chloride	MgCl_2
Common salt	NaCl
Silicic acid	SiO_2

تجاوز از محدوده عملکرد فیلتر باعث خروج غیر مجاز یونها از فیلتر می شود و در نتیجه آب خروجی ، سخت و بعنوان آب تغذیه مناسب نخواهد بود. معمولاً فیلترهای پایه شامل دو استوانه هستند که یکی در حال کار و دیگری در حالت آماده بکار (stand by) می باشد. رزینهای سختی گیر طی عملیات شستشوی معکوس (back wash) توسط آب نمک مجدداً احیاء می شوند.

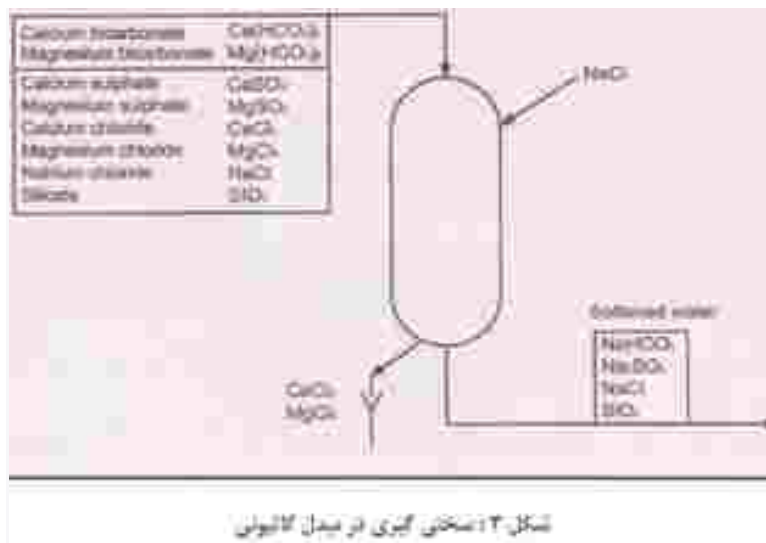
فرآیند احیای رزین ، طی مراحل ذیل انجام می شود:

خروج از سرویس <-- فلاشینگ <-- احیاء <-- شستشو <-- راه اندازی مجدد

هدف از فلاشینگ آزاد سازی رسوبات و تخلیه آنها می باشد. بدین منظور عملیات احیاء توسط آب نمک معمولی با غلظت 10% انجام می شود. فرآیند احیاء عکس فرآیند سختی گیری است.

تمام یونهای کلسیم و منیزیم جذب شده توسط رزین ، توسط یونهای سدیم آب نمک جایگزین شده و متعاقباً با آب شستشو و تخلیه می گردند. رزینها باید به مقدار کافی در تماس با آب شور باقی بمانند تا بطور کامل شارژ گردند.

سازنده های رزین ، زمان شارژ و میزان آب شور لازم جهت یک متر مکعب رزین را مشخص می کنند. در مرحله نهایی فرآیند ، آب شور توسط آب تازه جایگزین می شود و در این زمان فیلتر آماده جهت سختی گیری مجدد است. این عملیات در بسیاری از سختی گیرها بصورت خودکار انجام می شود.



در شکل 3، فرایند سختی گیری بطور مختصر نشان داده شده است. در خاتمه فرایند، تمام یونهای کلسیم و منیزیم از آب جدا شده و با سولفات سدیم، نمک معمولی، سدیم هیدروکربنات و اسید سیلیسیک جایگزین می شوند. ترکیب خروجی هنوز شامل هیدروکربناتهاست که می تواند باعث خوردگی اسید کربنیک شود.

حفاظت در برابر سختی باقیمانده

اگر در مدت فرایند خطایی صورت گیرد (غلظت آب نمک خیلی کم باشد، زمان لازم جهت شارژ کم باشد و یا آب معمولی با آب کندانس مخلوط شود) سختیها بصورت محلول باقی مانده و ممکن است بر روی لوله ها رسوب نمایند

بمنظور خنثی سازی سختی مازاد در بویلرها، از تزریق فسفاتها (اورتو فسفات و تری سدیم فسفات) استفاده می شود تا سختیها بصورت لجن در زیر بویلر درآیند. غلظت فسفات در آب بویلر در حدود 25-50 mg/1 است که باید بطور منظم اندازه گیری شود. کاهش ناگهانی غلظت مذکور؛ نشان دهنده ی ورود منبعی از سختی در قسمتی از سیستم است. این علت باید سرعت شناسایی و حذف شود.

بخش سوم: عوامل ایجاد خوردگی

ایجاد خوردگی

علاوه بر مراقبتهای لازم از بویلر در خصوص کیفیت آب تغذیه، باید از ورود گازهای نامطلوب به بویلر جلوگیری کرد. حضور اکسیژن در آب تغذیه باعث خوردگی در بویلر و بقیه اجزای سیستم بخار می شود. حضور دی اکسید کربن باعث خوردگی اسید کربنیک در سیستم کندانس می شود.

یکی از وظایف دی اریتورها جداسازی اکسیژن از سیستم است. قسمتی از دی اکسید کربن از طریق دی اریتور خارج می شود و باقیمانده آن با روشهای شیمیایی خنثی می شود.

دی اکسید کربن

در شیمی آب، دی اکسید کربن به صورت آزاد و یا ترکیب شده وجود دارد. دی اکسید کربن آزاد (CO_2) از طریق هوا جذب می شود و دی اکسید کربن ترکیبی به شکل هیدروکربنات (HCO_3) یافت می شود.

دی اکسید کربن آزاد واکسیژن در دی اریتور جدا و خارج می شوند اما دمای دی اریتور بمنظور تجزیه هیدروکربنات کافی نبوده و در نتیجه آنها در سیستم باقی می مانند. هیدروکربنات با آب تغذیه وارد بویلر بخار می شود. در نتیجه دمای بالا ، هیدروکربنات به دی اکسید کربن و آب شکسته می شود.

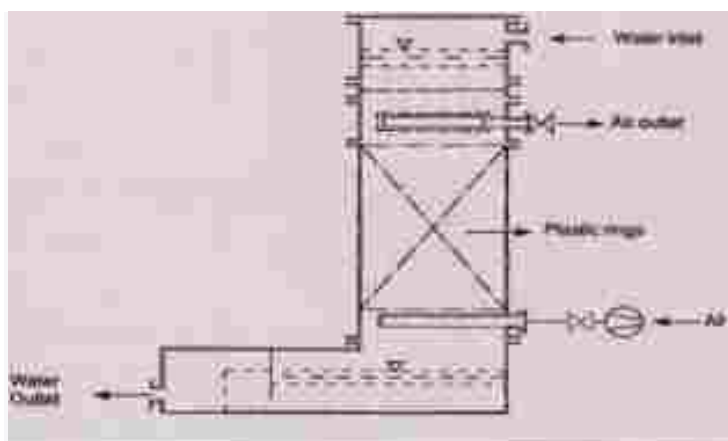
دی اکسید کربن وارد سیستم بخار شده و در مدت فرایند چگالش در مبدلها ، به صورت نامحلول در آمده و آن را اسیدی می کند (PH بین 4 و 5) نتیجه حاصل ، خوردگی در سیستم کندانس خواهد بود ، خصوصا اگر واحد خارج از سرویس باشد و کندانس بصورت ساکن و سرد در لوله ها باقی بماند.

بمنظور پیشگیری از خوردگی اسیدی ، از مواد شیمیایی خنثی کننده بصورت عامل قلیایی فرار (مانند آمونیاک و آمین) استفاده می شود. گاهی اوقات از این ترکیبات جهت ایجاد لایه محافظ جدار داخلی لوله های کندانس استفاده می شود.

یکی از مشکلات استفاده از آمینها ، تخریب و انحلال لایه قدیمی خورده شده در لوله ها می باشد که متعاقبا موجب مسدود شدن شیر آلاتی نظیر تله بخار و همچنین افزایش ایجاد لجن در کف بویلر می شود. بنابراین استفاده از این ماده باید با احتیاط صورت پذیرد.

کربن زدایی روش دیگر جداسازی هیدروکربنات است. با افزودن اسید درون آب سختی گیری شده ، هیدروکربنات به آب و دی اکسید کربن شکسته می شود. دی اکسید کربن از طریق وزش هوا در یک پاشنده (sprinkler) خارج می گردد. بعد از این مرحله مقدار PH آب اسیدی بوسیله مواد شیمیایی (مانند سود سوز آور) تا مقدار تقریباً 8 افزایش یابد.

پاشنده CO2



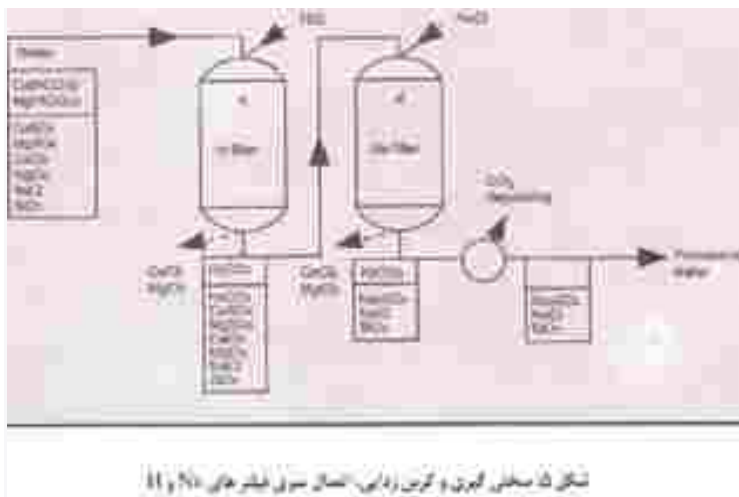
شکل ۴ پاشنده CO2

یک پاشنده CO₂ از پکیجی عمودی شکل که بر روی تشتی از آب قرار گرفته ، تشکیل شده است (شکل 4). آب اسیدی در قسمت بالایی تزریق و سپس از طریق لایه های مختلف تشکیل شده از رینگهای پلاستیکی وارد تشتی از آب می شود. هوا از جهت مخالف به آب وزیده می شود و آب و هوا به شدت با یکدیگر برخورد می کنند.

دی اکسید کربن با میزان کمتر از 10 mg/L از طریق کاهش فشار جزئی CO₂ جدا و خارج شده و به همراه هوا به محیط پراکنده می شود. چون آب اسیدی است. اجزای داخل پاشنده CO₂ از پلاستیک ساخته می شوند.

سختی گیری و کربن زدایی

بمنظور جداسازی ترکیبات CO₂ ، آب خام اولیه ابتدا از یک مبدل یون هیدروژن (فیلتر H) در طول فرایند کربن زدایی (که شامل دو فیلتر می باشد) عبور کرده و سپس از یک مبدل یون (Na فیلتر Na) نیز عبور می کند (شکل 5).



فیلتر H با هیدروکلریک اسید و فیلتر Na بوسيله نمک معمولی احیاء می شود. در فیلتر H ، یونهای Ca و Mg در هیدروکربناتهای کلسیم و منیزیم با یون هیدروژن مبادله می شوند و در نتیجه اسید کربنیک (H₂CO₃) تشکیل می شود. در فیلتر Na ، یون Na جایگزین یونهای Ca و Mg در کلریدهای کلسیم و منیزیم می شود.

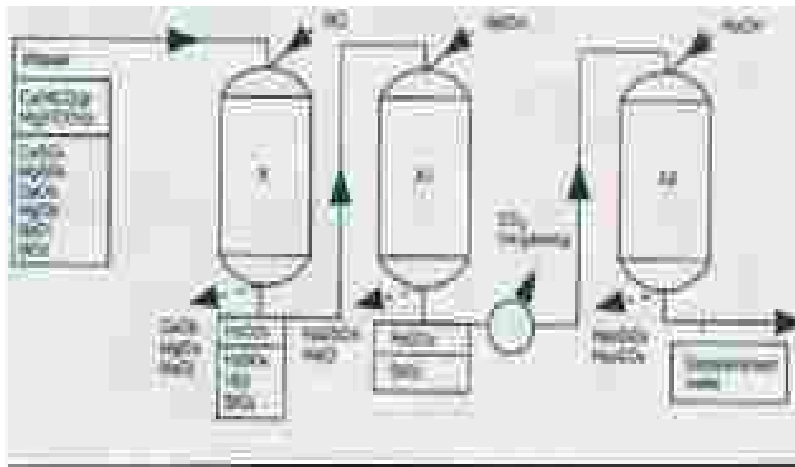
آب خروجی از فیلتر Na که دارای اسید کربنیک است ، در پاشنده CO₂ اسپری و هوا در جهت مخالف درون پاشنده از پایین وزیده می شود. اسید کربنیک به آب و دی اکسید کربن تفکیک می شود و متعاقباً دی اکسید کربن به هوای خارج پاشنده می شود.

گاهی اوقات پاشنده CO₂ بین دو فیلتر قرار داده می شود و در نتیجه می توان از فیلتر Na کوچکتری استفاده نمود. همچنین هردو فیلتر می توانند بصورت موازی نیز استفاده شوند که البته در این صورت ، اطمینان از تقسیم مناسب سیال بین دو فیلتر حائز اهمیت بوده و باید کیفیت آب بطور مستمر بررسی شود.

نمک زدایی

در واحدهای فشار بالا عملیات سختی گیری به تنهایی کفایت نمیکند. اگرچه آب سختی گیری شده ایجاد رسوب نمی کند غلظت بالای نمک باقیمانده و دمای بالای بخار باعث خوردگی می شود. به همین دلیل آب تغذیه مورد استفاده در واحدهای فشار بالا باید نمک زدایی شود.

بدین منظور ، یک فیلتر کاتیون اسیدی قوی که با هیدروکلریک اسید احیاء می شود ، بصورت سری به یک فیلتر آنیون پایه ای ضعیف که با حلال هیدروکسید سدیم (NaOH) احیاء شده است ، متصل می شود (شکل 6).



نظارت بر آب جبرانی

پاشنده CO₂ پشت فیلتر آنیون قرار داده می شود. آب خارج شده از پاشنده قبلا نمک زدایی شده است. پاشنده CO₂ همچنین از مقدار مواد شیمیایی ورودی به مبدل آنیونی پایه ای قوی می کاهد. بعلاوه یک فیلتر آنیونی قوی پشت پاشنده CO₂ برای جدا کردن اسیدسیلیسیک نصب می شود. یک مبدل بستر مخلوط (Mixed bed) مابین دو فیلتر بعنوان یک فیلتر کنترل کننده قرار داده می شود تا نمکهای باقیمانده و اسیدسیلیسیک را بزاید.

جدا کردن اسید سیلیسیک منحصر در مورد واحدهای بخار فشار قوی بطور مثال برای توربینها لازم است. اسید سیلیسیک تنها بر سطوح گرم بویلر بخار رسوب نمی کند و باقی ماندن آن بر روی پره های توربین ، موجب کاهش راندمان عمومی خواهد شد.

نظارت بر آب جبرانی و تغذیه بویلر

کیفیت آب جبرانی و تغذیه بویلر باید روزانه بررسی کرد. تهیه کنندگان مواد شیمیایی ، مقادیر خاصی را جهت بسیاری از مشخصات مختلف آب ترکیبی با مواد شیمیایی تعیین میکنند. جدول 4 نشان دهنده مقادیر پیشنهادی جهت بویلرهای فایرتیوب با فشار بخار بالای 20 bar است.

Boiler water		
Fire tube boiler up to 20 bar		
p value	mmol/kg	9-11
Silicic acid	mg/kg	15 (p value)
Conductivity measurement	µS/cm	6000
Phosphates	mg/kg	50-80
Feed water		
Flame tube boiler up to 20 bar		
PH		7.0
Hardness	mol/kg	0.036
Iron	mg/kg	0.3
Copper	mg/kg	0.3
Cl	mg/kg	3.0
Oxygen	mg/kg	0.1