

УДК 66.045.53:66-97

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ГРАДИРЕН НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ЗАВОДОВ

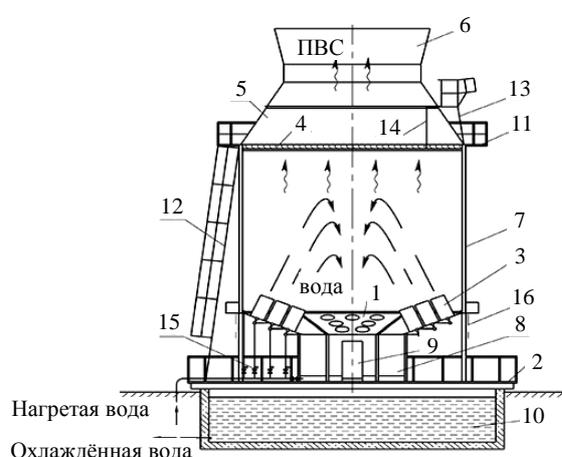
канд. техн. наук А.В. МИТИНОВ; канд. техн. наук, доц. Е.В. САФРОНОВА  
(Полоцкий государственный университет)

Приводится анализ вариантов модернизации вентиляторных градирен нефтехимических предприятий. Рассмотрены особенности эжекции в градирнях, предложены возможные варианты улучшения работы эжекционных градирен, связанные с конструктивным и материальным исполнением эжекционных сопел в градирнях.

**Ключевые слова:** вентиляторная градирня, эжекционная градирня, эжекция, сопло, оросительная форсунка, полиамид, углепластик, полипропилен.

Для современных нефтеперерабатывающих заводов замкнутый водооборотный цикл является одним из основных компонентов используемых технологий, во многом определяющим эффективность работы предприятий, особенно в летний период, так как для предприятий Республики Беларусь именно этот период является проблемным. Технологическими процессами к параметрам водооборотного цикла предъявляются требования четкости соблюдения температурного графика в различные периоды функционирования. Неэффективно работающий водооборотный цикл может приводить к потере производительности установок и ухудшению качества продукции.

В системах оборотного водоснабжения промышленных и энергетических предприятий для охлаждения оборотной воды используются градирни: башенные, вентиляторные, эжекционные или брызгальные бассейны. Башенные градирни и брызгальные бассейны более широкое применение нашли на предприятиях энергетики, а вентиляторные и эжекционные – на промышленных предприятиях нефтехимической отрасли [1–2]. Эжекционные градирни – это открытый охладитель воды испарительного типа, в котором вода и воздух движутся прямотоком (рисунок 1).



- 1 – водослив; 2 – площадка технологическая; 3 – канал эжекционный; 4 – каплеуловитель;  
5 – конфузор; 6 – диффузор; 7, 8 – ограничения корпуса и ветровых перегородок; 9 – дверь,  
10 – бассейн для сбора охлажденной воды; 11 – площадка верхняя; 12 – лестница; 13 – лестница верхняя;  
14 – лестница внутренняя; 15 – водораспределительная система

Рисунок 1. – Эжекционная градирня

Охлаждение происходит за счёт создаваемой среды, приближенной к условиям вакуума специальными форсунками (обеспечивающими площадь тепломассообмена, каждая  $450 \text{ м}^2$  на  $1 \text{ м}^3$  прокачиваемой жидкости). Температура оставшейся массы понижается до  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ . Эжекционные градирни выдерживают наибольшие гидравлические нагрузки и способны охлаждать воду с большим перепадом и с очень высоких температур (до  $90 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Это обусловлено как отсутствием оросителя, так и большой суммарной площадью поверхности мелкодисперсных капелек и брызг и высокими скоростями водовоздушных потоков. Затраты электроэнергии на эксплуатацию систем оборотного водоснабжения при грамотной организации схемы водоснабжения и автоматики не превышают затрат на типовые вентиляторные установки [1–2].

Вентиляторные градирни с любым размещением вентилятора представляют собой открытый охладитель испарительного типа, в котором вода и воздух движутся противотоком (рисунок 2). Процесс

охлаждения происходит за счёт испарения части воды при стекании её тонкой плёнкой или каплями по специальному оросителю, вдоль которого в противоположном движению воды направлении подаётся поток воздуха. При испарении 1% воды температура оставшейся массы понижается примерно на 5 °С.

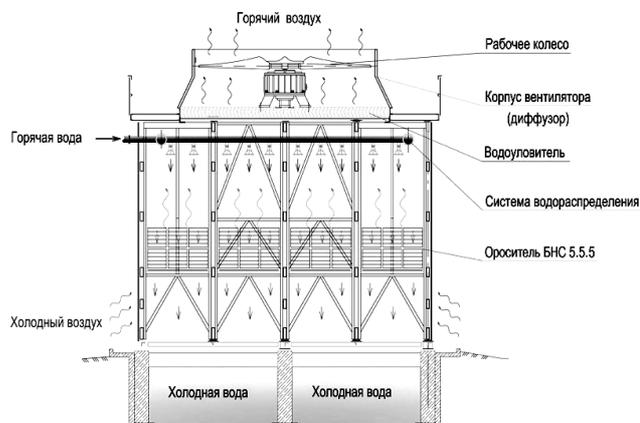
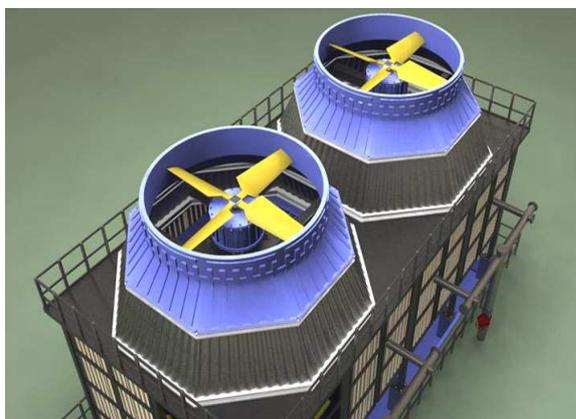


Рисунок 2. – Вентиляторная градирня с верхним размещением вентилятора

При выработке ресурса вентиляторной градирни встает вопрос о её замене или модернизации. Ввиду того, что ресурс машинного оборудования вентиляторных градирен значительно меньше ресурса строительных конструкций, на многих белорусских предприятиях реализован вариант модернизации градирен путем демонтажа вентиляторов и оросителей и превращения градирен в брызгально-капельные [3]. Такой подход во многом является вынужденным и определяемым экономической ситуацией на предприятиях и совершенно не практикуется во многих развитых странах. Однако в случае отечественных НПЗ такого рода модернизацию можно признать приемлемой в условиях кризисных явлений и при снижении объема переработки нефти, а также вследствие повышения энергоэффективности процессов нефтепереработки, позволяющих временно применять неоптимальные и не самые энергоэффективные решения во вспомогательных процессах нефтепереработки. С другой стороны, увеличение количества вторичных процессов и соответствующий рост удельных энергозатрат на единицу товарной продукции заставляют обращать внимание на эффективность оборотного водоснабжения и искать ресурсы ее повышения. Такие ресурсы могут быть выявлены в результате технологического аудита и анализа работы принятых при выполнении модернизации технических решений. Такой анализ технических решений позволяет обратить внимание на ряд аспектов, среди которых наиболее важными оказываются напор, конструкция и конструктивные параметры сопел, материальное исполнение сопел.

Выполненная на ОАО «Нафтан» модернизация градирен вентиляторного типа не предусматривала изменения насосного оборудования. Существующего напора, соответствующего давлению 0,2 МПа, достаточно для вентиляторной и брызгальной градирен, но не для эжекторной (только при малом размере сопел и, соответственно, высоком гидравлическом сопротивлении сопел, что ведет к снижению расхода).

Режим охлаждения в новых градирнях такой, как и в брызгальном бассейне, но имеет слабые стороны из-за наличия ограждающих конструкций, ограничивающих обмен с атмосферой.

В новых градирнях в качестве распылителей воды используются центробежно-струйные распылители, рабочим органом которых являются сопла круглого сечения, выполненные из полиамида, расположенные по окружности корпуса форсунки. Мелкодисперсные капли воды равномерно заполняют пространство градирни. Тепломассообмен осуществляется на высокоразвитой поверхности капель. При этом скоростной поток капель эжектирует окружающий воздух внутрь градирни, создавая дополнительный расход воздуха. Недостатками такой конструкции является нерациональное расположение форсунок с точки зрения контакта с потоками свежего (ненасыщенного парами воды) воздуха, поступающего из воздухозаборных окон, а также недостаточная эффективность эжекции при использовании круглых сопел. Для улучшения эжекции наиболее целесообразно использовать плоскощелевые сопла. Их эффективность подробно рассмотрена и доказана в исследованиях, представленных в [4; 5].

Принцип эжекции струями разного сечения показан на представленных ниже рисунках 3 и 4 (приняты следующие условные обозначения:  $d_c$  – диаметр сопла, м;  $\delta$  – толщина вовлеченного в поток жидкости газа, м;  $b$  – длина сопла, м;  $a$  – ширина сопла, м).

Для цилиндрического сопла:

- сечение сопла:

$$F_c = 0,785 \cdot d_c^2 ; \quad (1)$$

- сечение, захваченное струей газа:

$$F_z = 0,785 \cdot [(d_c + 2\delta)^2 - d_c^2]; \quad (2)$$

$$\frac{F_z}{F_c} = \frac{(d_c + 2 \cdot \delta)^2 - d_c^2}{d_c^2} = \left( \frac{d_c + 2 \cdot \delta}{d_c} \right)^2 - 1. \quad (3)$$

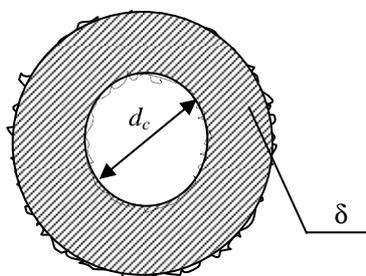


Рисунок 3. – Механизм захвата газа струей жидкости круглого сечения

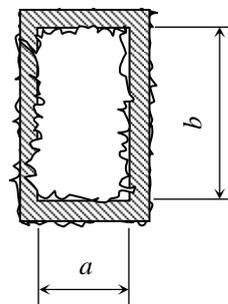


Рисунок 4. – Механизм захвата газа струей жидкости плоского сечения

Как известно, эффективность эжекции оценивается с помощью коэффициента эжекции, который определяется по формуле как отношение расхода газа к расходу жидкости:

$$K_э = \frac{Q_г}{Q_ж}, \quad (4)$$

$$K_э = \left( 1 + \frac{2 \cdot \delta}{d_c} \right)^2 - 1. \quad (5)$$

Для плоского сопла:

$$K_э = \frac{(b + 2 \cdot \delta) \cdot (a + 2 \cdot \delta) - a \cdot b}{a \cdot b} = \left( \frac{b + 2 \cdot \delta}{b} \right) \cdot \left( \frac{a + 2 \cdot \delta}{a} \right) - 1, \quad (6)$$

$$K_э = \left( 1 + \frac{2 \cdot \delta}{b} \right) \cdot \left( 1 + \frac{2 \cdot \delta}{a} \right) - 1. \quad (7)$$

Для упрощения процедуры сравнения необходимо сделать некоторые допущения:  $b/a = 10$  (для эффективной эжекции); сечение круглого сопла равно сечению плоского сопла; толщина прилипшего слоя газа в обоих случаях составляет:  $\delta_1$  – для цилиндрического сопла;  $\delta_2$  – для плоского сопла.

Выполняя математические преобразования, получим:

$$\frac{K_{э,пл}}{K_{э,цил}} = \frac{\left( 1 + \frac{2 \cdot \delta_2}{b} \right) \cdot \left( 1 + \frac{2 \cdot \delta_2}{a} \right) - 1}{\left( 1 + \frac{2 \cdot \delta_1}{d_c} \right)^2 - 1}. \quad (7)$$

В диапазоне изменения  $d_c$  от 2 до 20 мм, принимая, что толщина прилипшего слоя газа больше при работе с плоским соплом, получим коэффициент эжекции для плоского сопла, в несколько раз больший, чем для цилиндрического.

Учитывая изложенные замечания о недостатках конструкции выполненной модернизации брызгальных градилен, представляется интересным рассмотреть вопрос их совершенствования с сохранением достоинств, а именно низкой энергоемкости и приемлемого уровня эффективности в осенний, весенний и зимний периоды при возможности повышения эффективности работы в летний период на примере существующего блока водоподготовки, включающего две группы градилен – новых вентиляторных и капельно-брызгальных.

Модернизированные градилены оснащены полимерными или композиционными или композиционными распылительными форсунками круглого сечения, которые можно заменить форсунками прямоугольного сечения, что позволит изменить форму струи и увеличить её эжекционную способность. Целесообразно располагать форсунки по периметру воздухоподводящих окон, что увеличит эжекцию ненасыщенного пара воды воздуха.

Давление в напорной линии насосов, подающих воду на сопла, составляет 0,2 МПа. Что характерно для брызгальных градирен. Для смещения режима работы градирни в сторону эжекторной необходимо увеличение скорости истечения и, соответственно, давления на форсунках. Однако даже при обеспечении тем или иным способом повышения давления существует другая проблема – недостаточная конструктивная прочность форсунок. По отзывам эксплуатирующих служб, при существующих режимах и давлении 0,2 МПа наблюдаются случаи срыва части корпуса форсунки, что не позволяет повышать давление и ухудшает теплообмен между жидкостью и воздухом. Кроме этого, простое увеличение скорости истечения из центробежных форсунок приведет к уменьшению размера капель, полному испарению капель без охлаждения воды, увеличению капельного уноса из градирни [6].

Исследование существующей проблемы низкой конструкционной прочности форсунок с позиций полимерного материаловедения позволило выявить причину существующих ограничений на пути модернизации градирен за счет повышения скорости истечения из сопел. Анализ материального исполнения форсунок выявил крайне неудачный выбор в качестве конструкционного материала полиамида 6. Среди большого числа промышленных конструкционных полимеров именно полиамид 6 может быть охарактеризован как самый влагопоглощающий. Известно, что в нормальных условиях из воздуха полиамид 6 может поглощать до 2% влаги, а при использовании в горячей воде до 10% [7], что, естественно, вызовет резкое снижение прочностных характеристик материала.

Учитывая условия работы форсунок, целесообразно в качестве материала для их изготовления применять неполярные гидрофобные полимеры, например, полипропилен или его сополимеры. Такой подход гарантирует высокую прочность во всем диапазоне работы форсунок и обеспечивает отсутствие отложений на их поверхности.

**Заключение.** Обобщив полученные результаты проведенного исследования, необходимо подчеркнуть, что ОАО «Нафтан» имеет потенциал для повышения эффективности работы брызгальных градирен.

В качестве рекомендаций по улучшению работы градирен нефтеперерабатывающих заводов можно предложить следующие мероприятия, позволяющие обеспечить температурный график: изменение режима (давления) на форсунках путём последовательного подключения имеющихся насосов либо применением частотного регулирования; изменение конструкции форсунок с круглых на плоские; расположение их в воздухоподводящих окнах; замена материала исполнения форсунок.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пономаренко, В.С. Градирни промышленных и энергетических предприятий / В.С. Пономаренко, Ю.И. Арефьев. – М. : Энергоатомиздат, 1998.
2. Гладков, В.А. Вентиляторные градирни / В.А. Гладков, Ю.И. Арефьев, В.С. Пономаренко. – М. : Стройиздат, 1976.
3. Спиридонов, А.В. Повышение энергоэффективности градирен завода «Полимир» ОАО «Нафтан» / А.В. Спиридонов, Е.В. Сафронова // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В, Промышленность. Прикладные науки. – 2017. – № 3. – С. 120–125.
4. Сафронова, Е.В. Моделирование процессов переноса при струйном аэрировании: дис. ...канд. техн. наук : 05.17.08 / Е.В. Сафронова ; Полоц. гос. ун-т. – Новополоцк, 2004. – 125 с.
5. Сафронова, Е.В. Конструирование и расчет эффективных струйных аппаратов системы «жидкость – газ» / Е.В. Сафронова, А.В. Спиридонов, А.В. Митинов // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В, Промышленность. Прикладные науки. – 2016. – № 11. – С. 190–194.
6. Лаптев, А.Г. Устройство и расчет промышленных градирен / А.Г. Лаптев, И.А. Ведьгаева. – Казань : Казан. гос. энергет. ун-т, 2004.
7. Калинин, Э.Л. Свойства и переработка термопластов / Э.Л. Калинин, М.Б. Саковцева. – Л. : Химия, 1983.

Поступила 14.02.2018

#### MODERNIZATION OF GRADIREN OF OIL-REFINING PLANTS

A. MITINOV, E. SAFRONOVA

*This article gives an analysis of the options for upgrading the cooling towers of petrochemical enterprises. In the article are considered features of ejection in cooling towers, possible options for improving the operation of ejection cooling towers, related to the design and material execution of ejection nozzles in cooling towers are suggested.*

**Keywords:** cooling tower, ejection cooling tower, ejection, nozzle, irrigation nozzle, modernization, polyamide, carbon fiber, polypropylene, polyethylene.