

Практика применения ФСА на примере конструкции вентиляторной градирни

Доклад на конференцию ТРИЗ
Н. Л. Думанский

Содержание:

1. Вступление.
2. Описание выполнения этапов ФСА вентиляторной градирни
3. Выводы

Вступление.

Работа по данной теме назрела уже давно. И вот, после очередного разговора о дороговизне нашей вентиляторной градирни, я решился немного «прокачать» нашу градирню с целью увидеть возможные варианты уменьшения её стоимости.

Сначала думал поработать эпизодически над совершенствованием по некоторым проблемным узлам, но скоро понял, что нужно сделать полный функционально-стоимостной анализ испарительной вентиляторной градирни.

Работа на сегодняшний день не закончена, но можно представить те результаты, которые получились. К сожалению, полноценного анализа не получилось, но некоторый путь я прошел, и краткие результаты этого движения представлены в этом докладе.

При проведении Функционально-Стоимостного Анализа вентиляторной градирни было решено выполнить его основные этапы: Подготовительный, Информационный, Аналитический, Творческий, Рекомендательный.

Подготовительный этап

На подготовительном этапе, в работе были использованы чертежи общего вида вентиляторной градирни с размером секции 17 x 17 м. и высотой 12 м. (Рис. 1., 2) и спецификации к этим чертежам с указанием веса элементов градирни.

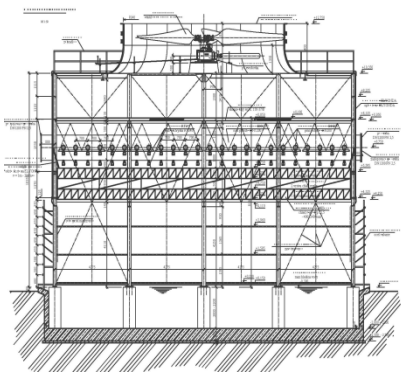


Рис. 1

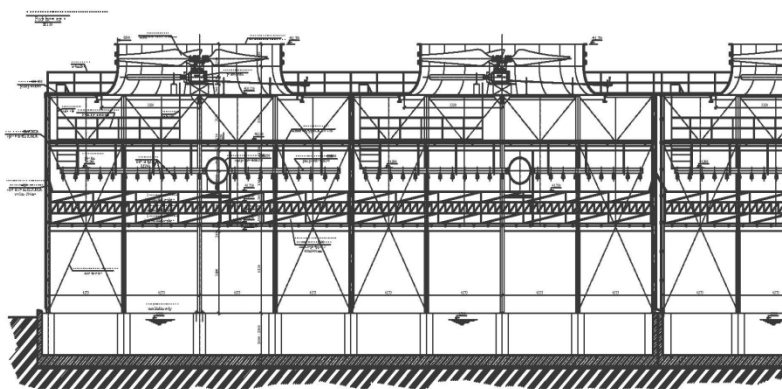


Рис. 2

Таблицы стоимости элементов конструкции вентиляторной градирни пока не удалось получить.

Информационный этап

Блок-схема системы, Структурная модель системы. Модель потоков преобразования энергии в системе, Модель системы в надсистеме, Другие модели системы.

На информационном этапе, не удалось составить Блок-схему системы «Вентиляторная градирня» и Структурную модель системы. Но были построены Модели потоков преобразований в системе в различных вариациях.

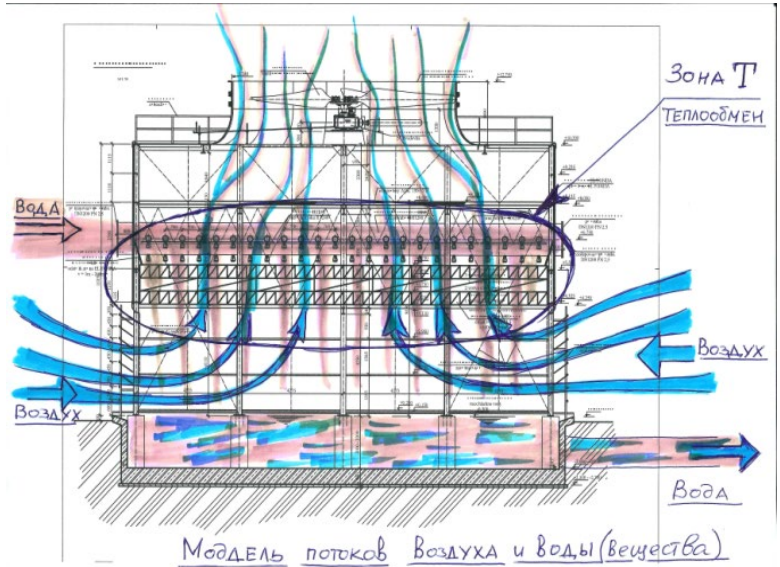
- Модель потоков вещества (воды и воздуха) в системе
- Модель тепловых потоков в системе
- Модель механических потоков в системе
- Модель системы в надсистеме.
- Модель скорости движения воздуха в системе

Модель потоков вещества в системе

В нашей системе присутствуют два основных потока вещества - это поток воды и поток воздуха.

Рассмотрим поток воды.

Он создан в надсистеме циркуляционным насосом и движется горизонтально на уровне земли в трубе большого диаметра до нашей системы. Перед системой поток воды поворачивает на 90° (на модели условно не показан) вверх и поднимается на высоту 7-8 метров. На этой высоте поток воды заходит в нашу систему и делится на много мелких потоков воды, распространяясь на всю площадь системы. Далее, эти мелкие потоки воды разрываются на еще более мелкие капли воды. После этого, поток воды, раздробленный на мелкие капли, опускается вертикально вниз на ороситель. На оросителе, капли потока воды



превращаются в тонкую вертикально-наклонную пленку воды. Далее тонкая вертикально-наклонная пленка потока воды заданное время движется вертикально вниз, контактируя с воздухом, который движется вертикально вверх.

Во время движения тонкой вертикально-наклонной пленки потока воды происходит несколько физических процессов. (поверхностное натяжение, трение, теплообмен, испарение)

При достижении тонкой вертикально-наклонной пленкой нижней кромки оросителя, эта пленка потока воды образует капли разного размера и вертикальные струйки воды, падающие вниз в свободном падении. В такой форме, поток воды движется вниз через движущейся навстречу ему воздух. Внизу поток воды попадает в накопитель. В накопителе поток воды приобретает форму крупного пласта воды с размерами накопителя. Далее поток воды из накопителя выводится в отводящий канал, откуда поступает к циркуляционному насосу (на модели условно не показан).

В этой модели мы наблюдаем, что с потоком воды происходит следующее:

1. **Изменение направления в пространстве.** Поток воды четыре раза меняет свое направление движения в пространстве.
2. **Изменение физических размеров.** Поток воды в размерах в метрах подвергается поэтапному уменьшению в 1000 раз, при этом, теряет свою целостность и разрывается на мелкие части. Затем резко увеличивается в 1000 раз и целым и большим потоком, опять в размерах в метрах, выходит из системы. (уменьшиться, чтобы потом опять увеличиться)
3. **Изменение геометрической формы.** Поток воды проходя через систему меняет свою геометрическую форму:

Вход в систему --- горизонтальный цилиндр с диаметром D1200

Далее: Вертикальный цилиндр с диаметром D1200 --- Далее Горизонтальный цилиндр диаметром D1200 --- Далее Горизонтальные цилиндры диаметром D200 --- Далее Вертикальные цилиндры диаметром D30 --- Далее Сферические капли диаметром D1-5 --- Далее Вертикально-наклонная пленка толщиной 0,3-0,8мм., --- Далее Сферические капли диаметром D5-7 --- Вертикальные спиралевидные конусообразные нити диаметром D5-10 --- Горизонтальный параллелепипед с размерами 2000x17000x17000 --- Горизонтальный цилиндр диаметром D1200 --- **Выход из системы.**

Анализируя такое количество изменений потока воды и понимая, что каждое изменение выражается в системе в стоимостном выражении, необходимо говорить о сокращения количества изменений потока воды до минимального количества, необходимого для выполнения главной функции системы.

Здесь просится формулировка ИКР: поток воды не изменяет свою форму и размеры и при этом сам уменьшает свою тепловую энергию.

Рассмотрим поток воздуха

Поток воздуха в системе создается принудительно за счет увеличения скорости движения воздуха в верхней части системы. В систему поток воздуха заходит в виде двух встречных горизонтальных потоков с двух противоположных боков системы в нижней её части. Оба боковых потока огибая вертикальные опоры, попадают в пространство под оросителем и поворачивают на 90° вверх, направляясь к нижней кромке оросителя. Смешавшись в центральной части системы, общий поток воздуха проходит сквозь щели оросителя и контактирует с тонкой вертикально-наклонной пленкой потока воды. В этом пространстве поток воздуха смешивается с образовавшимся

водяным паром и эта смесь выходит из оросителя. Скорость выхода потока воздуха из оросителя более высокая чем скорость входа, поскольку источник движения воздуха находится над оросителем. Вместе с потоком паровоздушной смеси из оросителя выносятся и вода в виде мелких капель. Далее поток воздуха и водяной пар двигаются вертикально преодолевая сопротивление горизонтальных элементов системы. После частичной очистки смеси водяного пара и потока воздуха от водяных капель, эта смесь проходит через зону максимальной скорости движения потока воздуха и далее направляется вверх в атмосферу с затухающей скоростью, смешиваясь с атмосферным воздухом. На этом цикл движения воздуха через систему закончен.

Анализируя движение потока воздуха следует отметить:

1. **Изменение направления движения.** Изменение один раз направления движения на 90° .
2. **Наличие сопротивления движению.** Элементы системы сопротивляются движению воздуха на каждом этапе движения – вход в систему --- нижняя часть под оросителем – ороситель – пространство над оросителем --- зона очистки от капель воды – верхняя часть системы --- зона максимальной скорости воздуха --- выход из системы.
1. **Изменение скорости движения.** Уменьшение скорости движения потока воздуха после прохода зоны максимальной скорости воздуха. Увеличение скорости движения воздуха по ходу его движения через систему до её максимального значения в зоне максимальной скорости воздуха.

Что можно желать от этого потока вещества – не менять направления движения, не иметь сопротивления (иметь минимальное сопротивление, уменьшить количество этапов сопротивления), не менять скорость движения – сохранять одно стабильное значение скорости движения. Особенных идей по изменению системы не возникает за исключением мысли о сокращении этапов прохода потока воздуха через систему.

Очевидно, что нужно предложить вариант системы с минимальным (Один) числом внутренних этапов прохода потока воздуха. Поток воздуха зашел в систему --- поток воздуха отобрал тепло от воды – поток воздуха вышел из системы. В развитие предложения сформулируем ИКР: *предложить систему без прохода воздуха через систему.*

Таким образом, построение и анализ Модели потоков вещества в системе дало нам ряд направлений для творческих мыслей и изменения системы с целью её совершенствования в соответствии с Законами развития технических систем. Конкретные технические решения будут разработаны на Творческом этапе нашей работы.

Модель тепловых потоков системы.

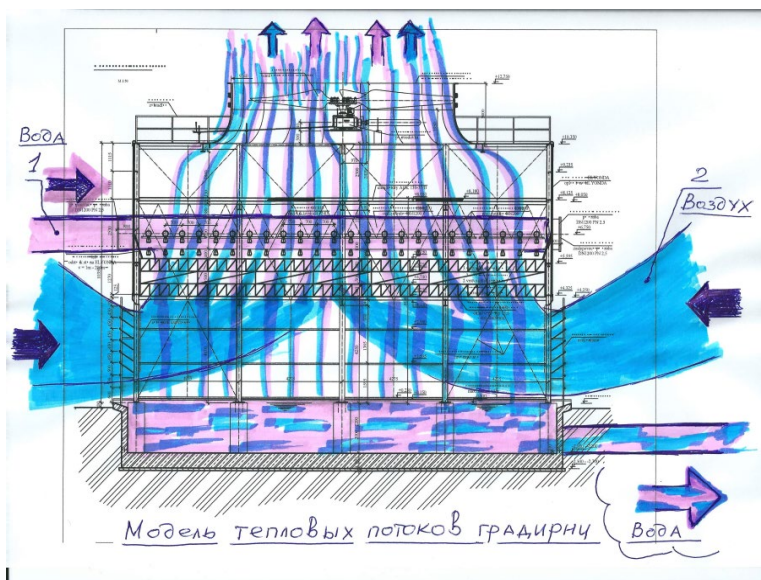
Рассматривая Модель тепловых потоков системы можно заключить, что низкотемпературный поток (далее по тексту – поток холода) заходит в систему в виде атмосферного воздуха.

А поток высокотемпературного тепла (далее по тексту – поток тепла) заходит в систему в виде нагретой воды.

Поток тепла в системе.

Поток тепла, закрытый стенкой от потока холода, заходит в систему на высоте 7 м.

Далее, закрытый стенкой от холода, поток тепла равномерно распространяется в горизонтальной плоскости системы на высоте 7 м. Затем, этот, распределенный в горизонтальной плоскости, поток тепла точно разбивается на мелкие части сферической и спиралевидной формы и одновременно начинает контактировать с



потоком холода, движущимся вертикально вверх. Разбитый на мелкие сферические и спиралевидные части поток тепла движется вертикально вниз, под действием силы тяжести, в окружении встречного потока холода. Во время этого движения происходит процесс отдачи тепла от потока тепла к потоку холода. Далее поток тепла изменяет свою форму на форму тонкой вертикально-наклонной пленки. В такой форме поток тепла находится заданное время. В это время происходит процесс отдачи тепла от потока тепла к потоку холода по всей наружной поверхности потока тепла. По истечении заданного времени, поток уже уменьшенного тепла снова изменяет форму и принимает сферическую и спиралевидную форму и продолжает движение вертикально вниз навстречу потоку холода. В этом движении тоже происходит процесс отдачи тепла от потока уменьшенного тепла к потоку холода по всей наружной площади потока уменьшенного тепла. По истечении заданного времени падения поток уменьшенного тепла, отдав еще часть своего тепла, принимает форму крупного пласта толщиной около 2 м. Этот пласт потока уменьшенного тепла на выходе из системы преобразуется в горизонтальный цилиндрический поток уменьшенного тепла.

Поток холода в системе

Поток холода в форме горизонтального фронта заходит в систему в нижней её части под действием одного из элементов системы. Попав внутрь системы, в пространство под оросителем, поток холода омывает все физические формы, которые встречаются ему на пути, при этом забирая тепло от этих форм. Далее, поток холода изменяя свое направление движения на вертикальное движется заданное время через ороситель. В оросителе поток холода контактирует с поверхностью тонкой вертикально-наклонной пленки потока тепла и забирает часть тепловой энергии из потока тепла. Покинув ороситель нагретый поток холода движется вертикально вверх и при этом забирает часть тепловой энергии от капель и спиралевидных струек потока тепла. Далее нагретый поток холода выходит из системы вертикально вверх.

Анализ модели потоков тепла в системе дал следующие результаты:

- поток тепла в системе при входе имеет длинный неэффективный путь, при котором он не контактирует с потоком холода. Этот путь необходимо сократить до минимума. Идеально вообще отказаться от наличия такого пути потока тепла в системе.
- поток тепла проходя через систему много раз меняет свою форму. Это излишняя стоимость носителей. Необходимо все лишнее убрать
- поток тепла отдает свою энергию только через свою наружную поверхность. Это экстенсивный способ отдачи тепла. Предложить интенсивный способ отдачи тепловой энергии со всего объема потока тепла. Поискать возможные решения в таблице физических эффектов возможные решения. Здесь возможно составить физическое противоречие. Нужно проработать более глубоко это направление.
- поток холода по пути своего движения кроме потока тепла, встречает разные элементы системы, у которых он тоже забирает тепловую энергию, теряя свою эффективность при работе с потоком тепла. Необходимо завести поток холода непосредственно в место прямого контакта с потоком тепла

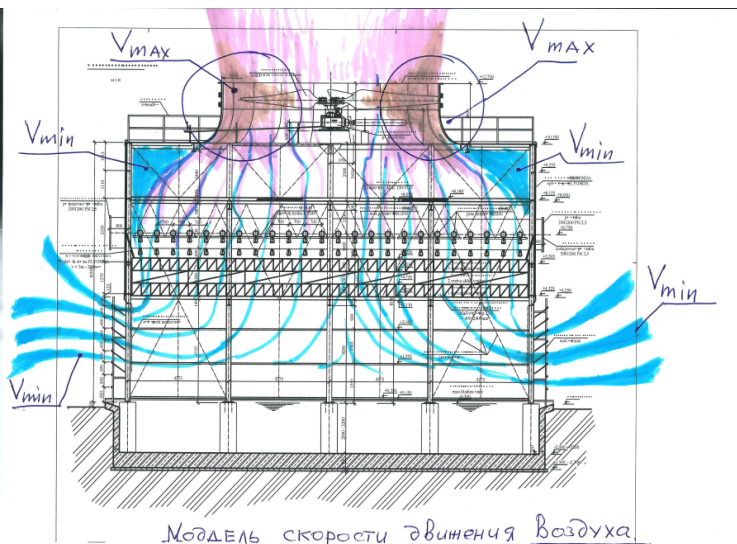
Рассмотреть вариант без обшивки совсем с выполнением функции обшивки водоуловителем например или стенку сделать водоуловителем одновременно. Развить эти направления.

Результаты рассмотрения модели потоков тепла в системе наталкивают на интересные направления развития системы. Здесь возможны новые технические решения элементов системы. Эту работу проведем на творческом этапе нашего анализа.

Модель скорости движения воздуха в системе

Анализ модели скорости движения воздуха, которая была построена нашими чешскими коллегами и случайно попала мне на глаза, привел меня в состояние удивления от человеческого свойства: «не видеть очевидные вещи».

На этой модели очень хорошо наглядно в цвете видно в каких частях пути движения, воздуха в градирне какая скорость воздуха. Самая большая, выделена ярким красным цветом, и этот участок находится в зоне прилегающей к горизонтальному сектору вращения лопастей вентилятора с максимальным градиентом в зоне кончиков лопастей вентилятора. Я сам в процессе этой работы высчитывал эту скорость для определения скорости воздуха в оросителе. Эта скорость имеет значение около 8-9 м/с. Именно такую скорость воздуха должен



создавать вентилятор, чтобы учитывая все сопротивления, в оросителе поддерживать скорость в пределах 1,6 – 2,5 м/с.. Пока я не увидел наглядно модель движения воздуха в цвете, то я не видел очевидной глупости применяемого технического решения. Затрачивать средства, создавать скорость воздуха 7-9 м/с для того, чтобы использовать 1,6-2,5 м/с.

Выводы из этой модели.

- Применяемое решение по созданию потока воздуха в системе неэффективно. Необходимо предложить технические решения, которые позволят эффективно использовать вентиляторное устройство в системе.
- В системе имеются «мертвые» зоны в движении воздуха. Их необходимо соответственно или убрать из системы или эффективно использовать. Технические решения не имеющие «мертвых» зон известны и используются на практике.

- формой, наиболее эффективной для создания равномерного потока воздуха, для вентиляторной градирни является форма цилиндра. На практике всегда применяется прямоугольный параллелепипед. Необходимо проработать и это направление.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЭТАП

Функциональная модель градирни, Функционально-Стоимостная Диаграмма градирни

При проведении аналитического этапа была построена только функциональная модель вентиляторной градирни до 2-го уровня. Она не закончена и работа по ней еще ведется.

Анализ функциональной модели дал возможность посмотреть на «обратную» сторону вентиляторной градирни. Целый ряд носителей функции «Сохранять целостность системы и удерживать систему в пространстве» одновременно выполняют вредные функции – «Создавать сопротивление движению тепловых потоков как воздуха так и воды». Есть над чем задуматься при оценке важности функции в системе и необходимости присутствия её носителя в системе.

ТВОРЧЕСКИЙ ЭТАП

Применение методов ТРИЗ, Определение технических противоречий в системе, Решение технических противоречий, Построение матрицы вариантов решения технических противоречий

На Творческом этапе представим краткие результаты нашего анализа системы и те мысли, которые возникали по ходу проведения анализа системы.

1. Необходимо сокращение количества изменений потока воды до минимального количества, необходимого для выполнения главной функции системы. Сформулирован ИКР: поток воды не изменяет свою форму и размеры и при этом сам уменьшает свою тепловую энергию.
2. Поток вещества должен – не менять направления движения, не иметь сопротивления (иметь минимальное сопротивление, уменьшить количество этапов сопротивления), не менять скорость движения – сохранять одно стабильное значение скорости движения.
3. Необходимо предложить вариант системы с минимальным (Один) числом внутренних этапов прохода потока воздуха. «Поток воздуха зашел с атмосферы в систему --- поток воздуха отобрал тепло от воды – поток воздуха вышел из системы в атмосферу». (ороситель без стенок в атмосфере)
4. Поток тепла в системе при входе имеет длинный неэффективный путь, при котором он не контактирует с потоком холода. Этот путь необходимо сократить до минимума. «Поток тепла зашел в систему – поток тепла отдал часть тепла потоку холода – поток тепла вышел из системы.» Идеально вообще отказаться от наличия такого пути потока тепла в системе.
5. Поток тепла, проходя через систему, много раз меняет свою форму. Это излишняя стоимость носителей. Необходимо все лишнее убрать
6. Поток тепла отдает свою энергию только через свою наружную поверхность. Это экстенсивный способ отдачи тепла. Предложить интенсивный способ отдачи тепловой энергии со всего объема потока тепла одновременно. Рассмотреть таблицу физических эффектов. Здесь возможно составить физическое противоречие. Нужно проработать более глубоко это направление.
7. Поток холода по пути своего движения кроме потока тепла, встречает разные элементы системы, у которых он тоже забирает тепловую энергию, теряя свою эффективность при работе с потоком тепла. Необходимо завести поток холода непосредственно в место прямого контакта с потоком тепла В идеале воздух должен брать из атмосферы направляться непосредственно в зону теплообмена с водой и пройдя через эту зону (преодолев сопротивление только здесь, и только сопротивление воды, а не чего то другого) попадать опять в атмосферу без какого либо сопротивления.
8. Необходимо предложить максимально эффективное использование вентиляторного устройства в системе. Решение создания скорости только там, где она необходима для системы – в зоне проведения теплопередачи.
9. В системе имеются «мертвые» зоны в движении воздуха. Их необходимо соответственно или убрать из системы или эффективно использовать.
10. Формой, наиболее эффективной для создания равномерного потока воздуха, для системы является форма цилиндра. На практике всегда применяется прямоугольный параллелепипед. Необходимо проработать и это направление.
11. Исходя из модели преобразования потоков вещества необходимо максимально выровнять направления движения потоков тепла и холода в системе, Так вот, выровнять потоки – значит направить оба тепловых потока (воды и воздуха) по прямой. Эти потоки по всей своей наружной поверхности контактируют друг с другом для выравнивания температур в этих потоках (уменьшая температуру теплового потока воды). Конструктивно такое устройство можно представить в многих вариантах, например горизонтальная цилиндрическая труба в которой движутся поток тепла и поток холода. Задача в этом случае – создание

максимально возможной площади контакта этих двух потоков. Время контакта потоков в этом случае может быть существенно больше в сравнении со временем контакта в нашей системе.

12. Также нужно подумать об использовании низко потенциального «бросового» тепла отводящего воздушного потока в полезных целях. Здесь возможен тепловой насос, который именно такую функцию и выполняет. Правда, здесь было бы уместным говорить о тепловом потоке в цифрах. Но это не тема нашего доклада. В качестве развития этой идеи использовать тепловой насос совместно с нашей системой максимально переложив на тепловой насос отбор тепла непосредственно от потока тепла.(потока нагретой воды)

По ходу выполнения анализа были сформулированы несколько технических противоречий, касающихся одной из проблемных зон в системе - **«система зимней защиты»**.

Описание ситуации: при зимней температуре ниже минус 25 °С наружные опорные стойки градирни, периферийная и нижняя часть оросителя, подвержены обмерзанию льдом при работающей градирне. Этот процесс приводит к разрушению периферийной части и фрагментарно нижней части оросителя. Разрушение оросителя приводит к ухудшению охлаждающей способности градирни и классифицируется как отказ градирни.

Назначение «системы зимней защиты» – в зимнее время защищать ороситель от обмерзания и разрушения в периферийной части градирни путем ограничения доступа холодного наружного воздуха к периферийной части оросителя (закрывание верхней части воздухозаборных окон поворотными панелями) и одновременно подогрев поступающего наружного воздуха (установка трубопровода с выпуском воды в бассейн градирни в проеме воздухозаборных окон в верхней его части. Эффективность этих мероприятий при больших отрицательных температурах низкая. Надежность работы тоже оставляет желать лучшего. Поворотные панели имеют механический привод, который тоже обмерзает и при этом перестает работать. Трубопровод зимней защиты (в силу периодической работы) засоряется, что приводит к возникновению проходов для холодного наружного воздуха.

Такая ситуация интересна для анализа и было сформировано несколько технических противоречий:

Техническое противоречие 1: «Воздухозаборные окна должны пропускать наружный воздух для эффективной работы градирни, и воздухозаборные окна не должны пропускать наружный воздух для того чтобы не обмерзал ороситель градирни». Причиной обмерзания оросителя является не сам физический воздух, а то тепло(-20°С - 40°С) которое он несет с собой - очевидная мысль по этому поводу.

Поэтому переформатируем **Техническое противоречие 1:** Воздухозаборные окна должны пропускать низкую температуру для работы градирни и воздухозаборные окна не должны пропускать низкую температуру для того чтобы не обмерзал ороситель»

Техническое противоречие 2: «Наружный воздух должен быть холодным для того, чтобы охлаждать воду и наружный воздух должен быть теплым для того чтобы не обмерзал ороситель»

Разрешение ТП возможно во времени, в отношениях, в пространстве.

Решение ТП во времени: представлено в действующих системах защиты. Летом воздухозаборные окна открыты и пропускают наружный воздух. В холодный период воздухозаборные окна закрываются поворотными панелями, и наружный холодный воздух не попадает на периферийную часть оросителя. Позитив: простое конструктивное исполнение – жалюзи. Простое управление – ручной или электропривод. Негатив: механическое движение при обмерзании блокируется льдом.

Для решения этой задачи было сформулировано

Техническое противоречие 3: «Жалюзи должны приводиться механическим приводом для изменения своего положения, и жалюзи не должны приводиться механическим приводом для не замерзания зимой»

После решения Технического противоречия было получено техническое решение без механического привода. В качестве привода используется имеющейся ресурс системы – нагретая вода. А жалюзи выполнены в виде полимерных плоских рукавов. В настоящее время строится модель устройства для проверки работоспособности и практического применения в системе.

Выводы:

Данная работа не закончена, и выполнена не в полном объеме ФСА, но даже те этапы которые были выполнены и представлены в этом докладе, выявили большие резервы системы «Вентиляторная градирня» для её совершенствования и удешевления стоимости изготовления.

Используя выводы, полученные в этой работе мы готовим несколько заявок на изобретения и полезные модели.

13 октября 2012 г.

Думанский Н.Л.