



## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УВЛАЖНЕНИЯ ВОЗДУХА В ПОКРАСОЧНЫХ КАМЕРАХ

**На предприятиях автомобилестроения для покраски кузовов используются эмалевые водорастворимые краски, при нанесении которых параметры воздуха в помещении должны поддерживаться на стабильном уровне. Слишком низкая влажность воздуха приводит к быстрому испарению воды при распылении краски, уменьшая ее текучесть и ухудшая равномерность нанесенного покрытия. Повышение влажности воздуха приводит к избыточному содержанию воды в слое эмали. В ходе горячей сушки излишки воды вскипают, образуются мелкие пузырьки, на окрашенной поверхности остаются следы и невозможно получить идеально гладкую поверхность.**

Еще 20 лет назад в покрасочных камерах широко использовались увлажнители испарительного типа. Однако с внедрением эмалевых водорастворимых красок они перестали отвечать современным требованиям по точности регулирования температуры и влажности воздуха. В наше время чаще используются паровые увлажнители, но для выработки 1 кг пара требуется около 0,75 кВт электроэнергии. При больших объемах увлажнения с точки зрения экономии энергоресурсов выгоднее использовать атомайзеры, которые распыляют воду через форсунки. Один из лидеров автомобилестроения завод Nissan Motors, расположенный в г. Смирна (США), для улучшения качества выпускаемых изделий решил модернизировать систему кондиционирования покрасочной камеры и выставил весьма жесткие требования к новой системе:

<b>Расход воздуха</b>	153 000 м³/ч
<b>Наружный воздух</b>	100%
<b>Температура воздуха в камере</b>	18 до 24 °С
<b>Влажность воздуха в камере</b>	65 до 75%
<b>Степень очистки воды</b>	деминерализованная вода, 0,5 мкСименс/см
<b>Система управления</b>	централизованная
<b>Предварительный нагрев воздуха</b>	двухступенчатый газонагреватель
<b>Охлаждение</b>	водяной чиллер
<b>Постнагрев</b>	водяной калорифер
<b>Фильтрация</b>	двухступенчатая: карманные фильтры грубой очистки (90%), карманные фильтры тонкой очистки (95%)
<b>Система управления увлажнителем</b>	совместимость с центральной системой на базе контроллера GE Fanuc

Специалисты немедленно приступили к анализу требований. Поскольку в системе кондиционирования использовался 100% наружный воздух, данный фактор стал решающим при выборе технологии и объема увлажнения. Наиболее критичный период – зима, когда температура воздуха в этом регионе опускается до -12 °С при влажности 50%. Это означает, что для достижения требуемых параметров в покрасочной камере необходимо добавлять:

$$Q = 153\,000 \cdot 1,2 (14,2 - 0,7) / 1000 = 2480 \text{ кг влаги/ч,}$$

где: 153 000 м³/ч – расход воздуха,

1,2 кг/м³ – средняя плотность воздуха,

14,2 г/кг – абсолютная влажность воздуха при -12 °С/50%,

0,7 г/кг – абсолютная влажность воздуха при 24 °С/75%.

Из имеющихся технологий увлажнения рассматривались пароувлажнители, атомайзеры и увлажнители испарительного типа. При использовании пароувлажнителей в пик сезона для выработки такого количества влаги потребовалось бы не менее 1800 кВт/ч электроэнергии. На работу атомайзера, где основной источник энергопотребления – компрессор, затрачивается не более 10 кВт/ч. Увлажнители испарительного типа, несмотря на их простоту и низкие энергозатраты, не обеспечивали должной точности и оперативности управления влажностью воздуха в покрасочной камере. Таким образом, атомайзер был выбран как наиболее оптимальное решение.

Проектировщики рассмотрели несколько вариантов решения и остановили свой выбор на канальном увлажнителе humiFog компании Carel по следующим положительным моментам:

- исполнение основных компонентов (насос, форсунки, коллекторы, каплеуловитель) из нержавеющей стали, что дает возможность работать на деминерализованной воде;

- отсутствие деталей из силикона, который со временем разлагается под действием деминерализованной воды;

- плавное и точное регулирование расхода влаги;
- высокий уровень самодиагностики и защиты насоса, инвертора, а также контура распыления;
- возможность интегрирования в единую систему управления по протоколам BACnet™, Modbus®, LONWORKS®, TCP/IP;
- авторитетный список промышленных предприятий, где установлены увлажнители Carel.

В результате был спроектирован увлажнитель humiFog, который предусматривал раздачу влаги через стойку, состоящую из 18 последовательно включаемых водяных контуров, с возможностью плавного регулирования производительности от 50 до 2500 кг влаги/ч.

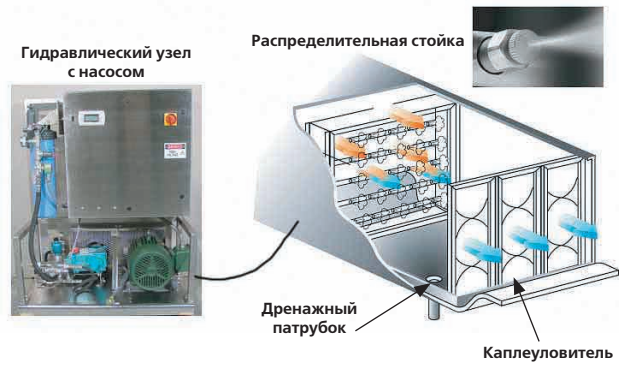


Рис.1. Основные компоненты увлажнителя humiFog

**Технические характеристики humiFog:**

<b>Максимальная производительность</b>	2500 кг влаги/ч
<b>Количество коллекторов</b>	23 (из нержавеющей стали)
<b>Количество контуров управления</b>	18 (некоторые контура состояли из 2 коллекторов)
<b>Форсунки</b>	667 шт. производительностью 4 кг/ч
<b>Каплеуловитель</b>	стекловолоконная решетка, макс. падение давления 70 Па
<b>Двигатель насоса</b>	Toshiba, высокоэффективный, с системой охлаждения TEFC, 5,6 кВт, типоразмер 213T
<b>Водяной насос</b>	CAT 1051, с фильтром
<b>Макс. эл. нагрузка</b>	11 А (3x460 В, 60 Гц)
<b>Частотно-регулируемый привод</b>	GE Fuji AF-300P11
<b>Система управления</b>	CAREL pCO <sup>2</sup> + pCO <sup>e</sup> + pCO <sup>UMID</sup>
<b>Входные сигналы</b>	уставка от центрального контроллера GE Fanuc, включение системы вентиляции, ограничительный датчик влажности в воздуховоде, датчик температуры, несколько датчиков давления

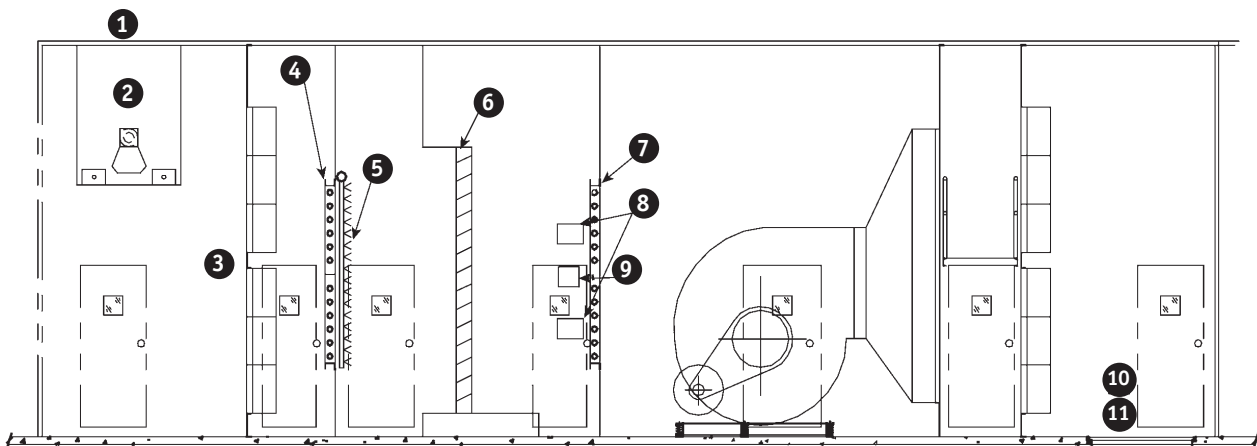


Рис. 2. Система кондиционирования покрасочной камеры

- 1 датчик точки росы наружного воздуха
- 2 газонагреватель
- 3 датчик температуры воздуха после предварительного нагрева
- 4 водоохладитель
- 5 увлажнитель
- 6 каплеотбойник
- 7 водонагреватель
- 8 ограничительный датчик влажности
- 9 датчик температуры постнагрева
- 10 регулирующий датчик температуры
- 11 регулирующий датчик влажности

Распределительная стойка в сборе



Сухой воздух

Секция увлажнения в момент работы



Влажный воздух

Рис. 3. Работа увлажнителя humiFog в составе центрального кондиционера

Для поддержания требуемой влажности воздуха в покрасочной камере вода под давлением 30 – 70 бар подается к форсункам и распыляется в тонкодисперсный аэрозоль, быстро поглощаемый воздухом, так как размер капель не превышает 10 микрон. Основное преимущество увлажнителя humiFog – низкое энергопотребление: не более 4 Вт на 1 кг распыляемой влаги. В данном случае расход электроэнергии увлажнителя не превышает 10 кВт/ч. Если бы использовался атомайзер, работающий на сжатом воздухе, например увлажнитель серии MC, то потребовалось бы около 240 кВт электроэнергии в час.

При разработке системы humiFog проектировщики подразумевали, что увлажнитель станет

неотъемлемой частью единой системы кондиционирования. Дело в том, что в адиабатических увлажнителях испарение аэрозоля происходит за счет потребления явного тепла, содержащегося в воздухе. В результате перехода воды из жидкого состояния в парообразное температура воздуха на выходе из секции увлажнения понижается.

Так для проектируемой системы в самый критичный зимний период при параметрах наружного воздуха -12 °C / 50% перед увлажнением необходим предварительный нагрев воздуха до 47 °C, чтобы на выходе достигнуть температуры воздуха 21 °C и влажности 70%.

Летом при температуре наружного воздуха 32 °C и

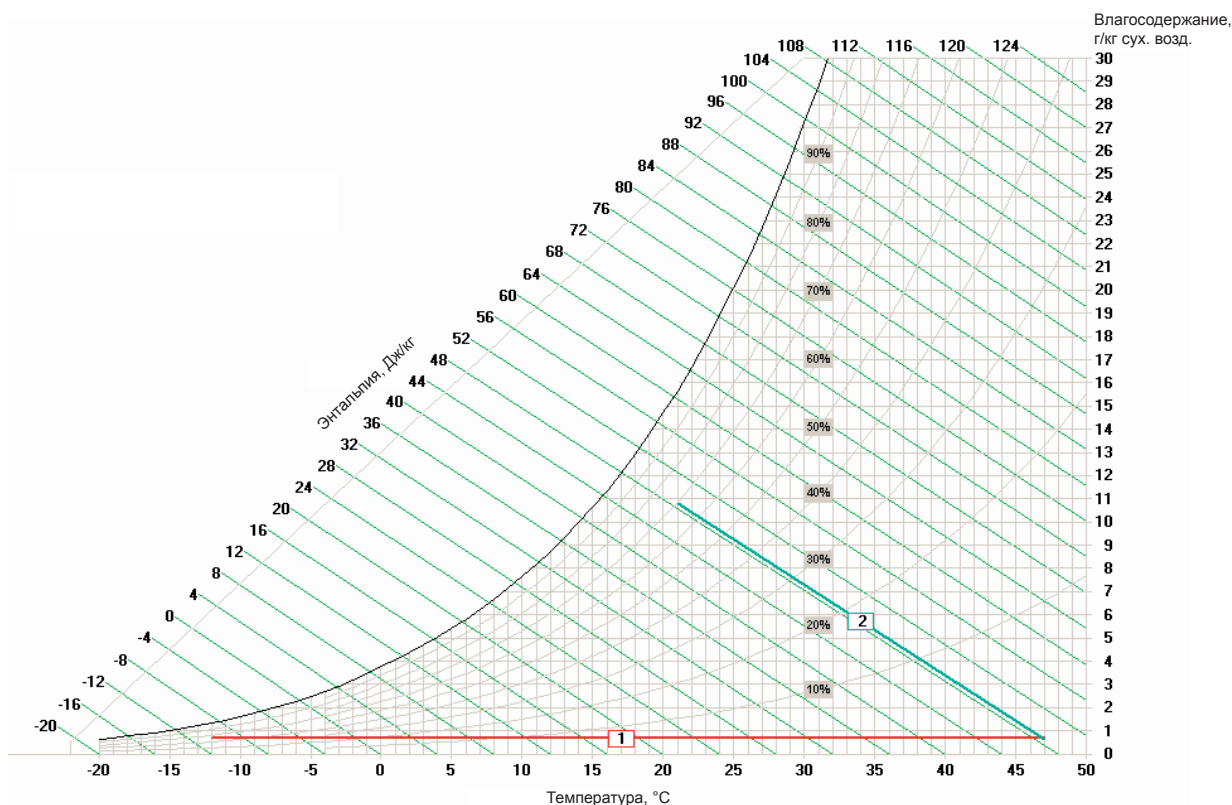


Рис. 4. Диаграмма обработки воздуха в зимний период

влажности 60%, наоборот, потребуется охлаждение и осушение воздуха, чтобы сохранить параметры воздуха в покрасочной камере на прежнем уровне 21 °C / 70%.

Из приведенных примеров видно, что при использовании технологии адиабатического увлажнения весьма важно грамотно продумать алгоритм управления всей системой кондиционирования, включая предварительный нагрев, охлаждение и постнагрев воздуха.

### Реализация системы управления на базе автоматики Carel

Для управления процессом увлажнения (насосом, контурами распределительной стойки) и интегрирования в единую систему управления центральным кондиционером был выбран свободнопрограммируемый контроллер рСО<sup>2</sup> с возможностью передачи данных по протоколам BACnet™, Modbus®, LONWORKS®, TCP/IP.

Программа, написанная специалистами Carel, обеспечила полную интеграцию в существовавшую систему управления на базе автоматики GE Fanuc.

#### Пояснения к алгоритму:

1) Уставка температуры воздуха после предварительного нагрева 13 °C:

– если температура воздуха на датчике 3 (см. рис. 2) ниже 13 °C, подается команда на увеличение предварительного нагрева до достижения уставки;

– если температура воздуха на датчике 3 (см. рис. 2) выше 13 °C, подается команда на снижение предварительного нагрева до достижения уставки.

2) Уставка температуры воздуха на выходе из центрального кондиционера 21 °C:

– если температура воздуха на датчике 10 (см. рис. 2) выше 21 °C, подается команда на увеличение охлаждения воздуха до достижения уставки;

– если температура воздуха на датчике 10 (см. рис. 2) ниже 21 °C, то:

- если humiFog работает (автоматика GE получает от humiFog сигнал в виде замкнутого «сухого контакта»), подается команда на увеличение постнагрева до достижения уставки;
- если humiFog не работает (автоматика GE получает от humiFog сигнал в виде разомкнутого «сухого контакта»), подается команда на увеличение предварительного нагрева до достижения уставки.

3) Уставка влажности воздуха на выходе из центрального кондиционера 70%:

– если влажность воздуха на датчике 11 (см. рис. 2) ниже 70%, подается команда на включение

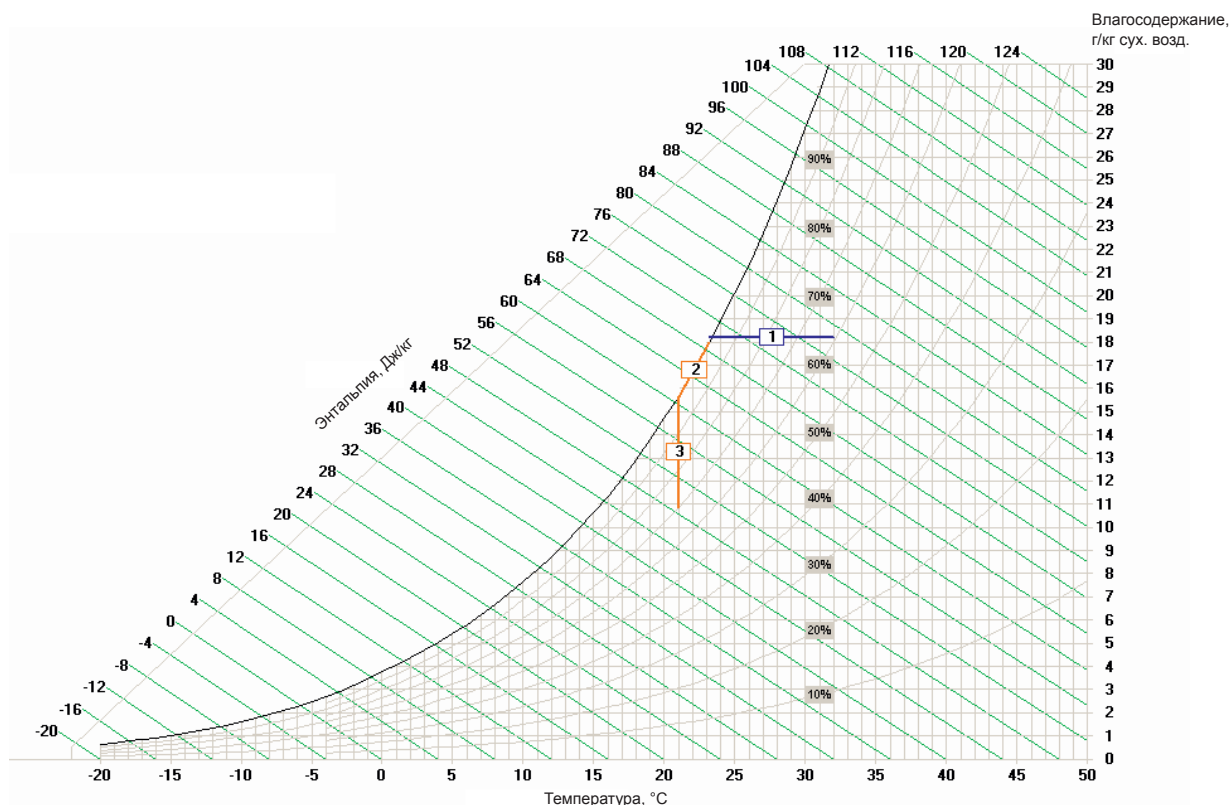


Рис.5. Диаграмма обработки воздуха в летний период

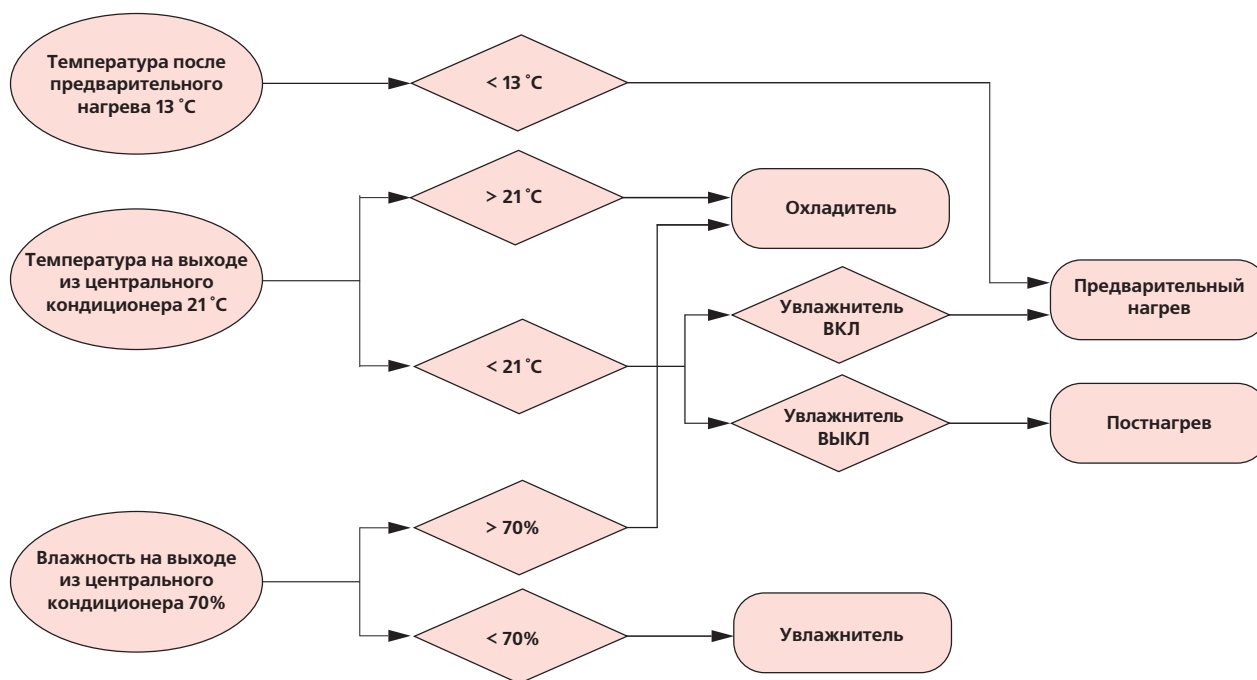


Рис. 6 Упрощенный алгоритм работы контроллера рСО<sup>2</sup> (схема расположения датчиков – см. рис. 2)

ние системы увлажнения. При этом замыкается соответствующий дискретный выход типа «сухой контакт» контроллера рСО<sup>2</sup>, подключенный к центральной системе управления GE, а система увлажнения автоматически наращивает требуемое количество включенных контуров для достижения уставки;

– если влажность воздуха на датчике 11 (см. рис. 2) выше 70%, подается запрос на охлаждение для достижения уставки.

Разумеется, полный алгоритм управления намного сложнее и дополнительно включает:

- регулирование давления подачи воды на увлажнитель,
- регулирование давления подачи воды на коллекторы,
- автодиагностику работы частотно-регулируемого привода и его автоперезапуск,
- регулирование влажности воздуха в воздуховоде по ограничительному датчику,
- автодиагностику работы датчиков,
- автодиагностику работы самого контроллера.

Такой сложный алгоритм работы системы увлажнения направлен на достижение конечной цели:

- точность управления влажностью ±2%,
- расход электроэнергии 4 Вт на 1 кг влаги/ч.

После запуска системы требуемая влажность была достигнута за 10 минут и поддерживалась с точностью ±2% при одновременном колебании температуры ±1°C; при этом температура наружного воздуха была -13 °C при влажности 50%.

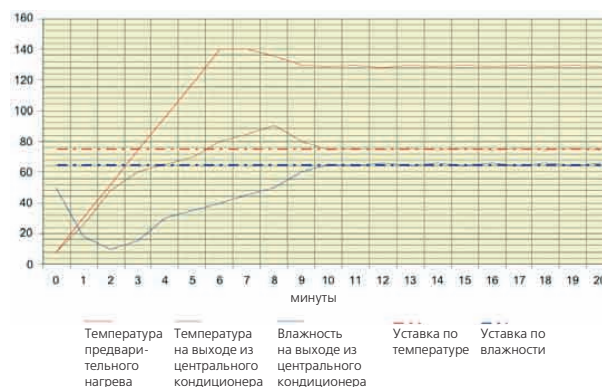


Рис. 7 Показатели работы системы кондиционирования в момент запуска увлажнителя hmiFog