

## Анализ эффективности систем кондиционирования с секцией осушения воздуха

*Магистрант Е.М. Титова\*;  
аспирант О.В. Аверьянова,*

*ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет*

Современное инженерное обеспечение может быть конкурентоспособным только при максимальной экономии энергии и сокращении эксплуатационных затрат путем использования наиболее прогрессивных технических решений.

Во многих случаях повышенная относительная влажность воздуха в помещении приводит к накоплению влаги в ограждающих конструкциях, что вызывает их повреждение и разрушение в условиях отрицательных температур наружного воздуха [1].

Поддержание заданного значения относительной влажности воздуха в помещениях со значительными влаговыведениями, таких как бассейны, аквапарки и другие спортивные сооружения, вызывает необходимость осушения воздуха. Применение центральных кондиционеров с секцией осушения, представляющей собой охладитель воздуха, позволяет существенно снизить эксплуатационные затраты на энергоснабжение зданий [2].

### Осушение воздуха

Требуемое значение относительной влажности воздуха обеспечивается ассимиляцией влаги осушенным воздухом, имеющим более низкое влагосодержание, чем влагосодержание внутреннего воздуха.

Существуют три способа осушения воздуха, основанные на таких физических явлениях как адсорбция, абсорбция и конденсация водяных паров. [3]

#### Конденсация

Работа конденсационных осушителей воздуха основана на принципе конденсации содержащегося в воздушной массе водяного пара на поверхностях, имеющих температуру ниже температуры точки росы воздуха [4].

##### Достоинства:

- конденсация влаги внутри агрегата способствует переводу скрытого тепла в явное, которое обуславливает дополнительный подогрев воздуха, циркулирующего в системе;
- работает в автоматическом режиме по заранее заданным настройкам.

##### Недостатки:

- неэффективны в помещениях с низкой температурой воздуха.

#### Адсорбция

Способ основан на использовании принципа адсорбции. Влага при этом собирается на специальном адсорбирующем материале типа силикагеля с последующей регенерацией, путем прокаливанию [4].

##### Достоинства:

- эффективны при низких температурах воздуха для его глубокой осушки;
- возможность осушения воздуха без его охлаждения, а также осушение воздуха при температуре ниже 0°C.

##### Недостатки:

- безвозвратные потери тепла вместе с удаляемыми парами воды в виде скрытой теплоты ее конденсации;
- безвозвратные потери тепла в явном виде, расходуемого на регенерацию адсорбирующих материалов путем их прокаливанию;
- неэффективны в помещениях с высокой температурой воздуха.

### Абсорбция

При абсорбции водяные пары из воздуха поглощаются жидкими поглотителями – растворами солей [4].

*Достоинства:*

- возможность получения воздуха с низким влагосодержанием.

*Недостатки:*

- опасность уноса солевого раствора потоком осушаемого воздуха и его последующего оседания на металлических поверхностях, что может привести к дополнительной коррозии металла вместо защиты от нее.
- большой объем оборудования.

### Пример использования системы осушения

Задача исследования – выбрать наиболее экономически целесообразный вариант поддержания внутренних климатических параметров для помещений с высоким влаговыведением на примере крытого бассейна и показать его эффективность.

В плавательных бассейнах, где согласно СП 31-113-2004 «Бассейны для плавания» температура воды должна быть не менее 26°C, а температура воздуха должна превышать ее на 1–2°C, безусловными преимуществами обладают осушители конденсационного типа [4].

Рассмотрим три варианта систем вентиляции и кондиционирования воздуха:

- прямоточная система с охладителем;
- прямоточная система с рекуперацией;
- система с рециркуляцией и утилизацией тепла внутреннего воздуха.

### Расчет влаговыведений

Влаговыведения с поверхности бассейна в период «использования»:

$$W_{отк} = (0,118 + 0,01995 \cdot a \cdot \frac{\Delta P}{1,333}) \cdot F \quad (1)$$

где  $F$  – площадь зеркала воды, м<sup>2</sup>,  
 $a$  – коэффициент занятости бассейна,  
 $\Delta P$  – разность давления водяных паров в воздухе и над водой.

Влаговыведения с поверхности бассейна в период «бездействия»:

$$W_{отк} = (-0,059 + 0,0105 \cdot \frac{P_w - P_1}{1,333}) F \quad (2)$$

Количество влаги, выделяемой людьми в период «использования» бассейна:

$$W_l = N_{чел} \cdot w_l \quad (3)$$

Суммарные влагопоступления в период «использования»:

$$\sum W = W_l + W_{отк} \quad (4)$$

Минимально требуемый расход воздуха для удаления избытков влаги:

$$G_{np} = \frac{\sum W}{\Delta d} \cdot 1000 \quad (5)$$

где  $\Delta d$  – разница влагосодержания внутреннего и наружного воздуха.

### Расчет теплотребности и потребности электроэнергии

Расчет произведен по среднемесячной температуре по данным СНиП 23-01-99\* «Строительная климатология».

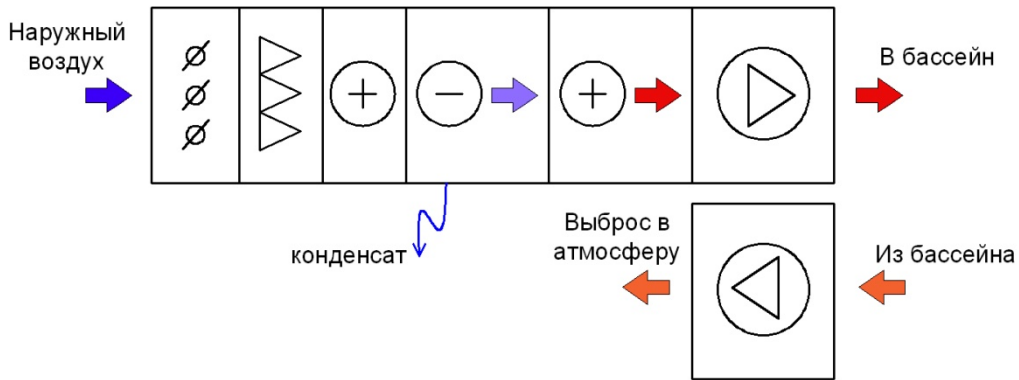


Рисунок 1. Прямоточная схема

1 вариант (рис. 1). Для ассимиляции избытков влаги подается нагретый осушенный наружный воздух.

Система представляет собой отдельную приточно-вытяжную систему.

Приток состоит из двух водяных нагревателей, охладителя и вентилятора.

Потребляемая осушителем электрическая мощность:  $N_{эл}$ , кВт.

Количество теплоты, необходимое на нагрев воздуха:

$$Q_{тепл} = G \cdot c \cdot \Delta t, \quad (6)$$

где  $G$  – расход воздуха в помещении, м<sup>3</sup>/ч;  
 $c$  – удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг\*С);

$\Delta t$  – разность температур внутреннего и наружного воздуха.

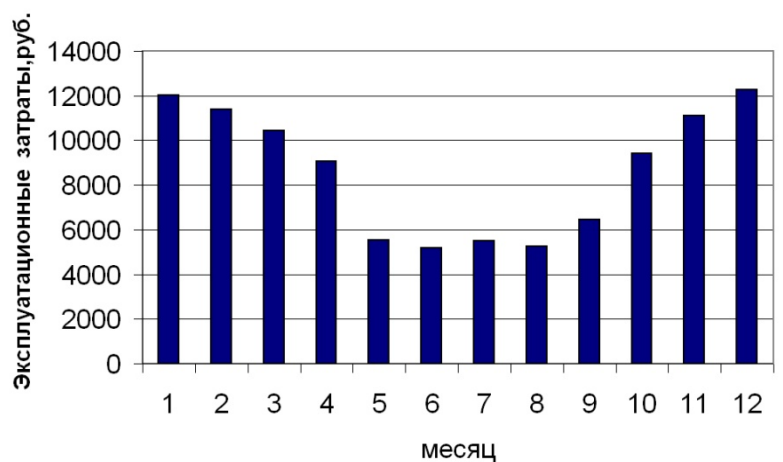


Рисунок 2. Эксплуатационные затраты\*

\*Стоимость Гкал тепловой энергии – 1067,22 руб. Стоимость кВт\*ч электроэнергии – 1,43 руб.

2 вариант (рис. 3). Для ассимиляции избытков влаги подается нагретый осушенный наружный воздух.

Для использования теплоты удаляемого воздуха установлен теплообменник, что позволяет экономить значительное количество энергии, требуемой на обогрев. [5]

Система состоит из приточной и вытяжной установок, охладителя, водяного нагревателя и пластинчатого теплообменника (рекуператор тепла).

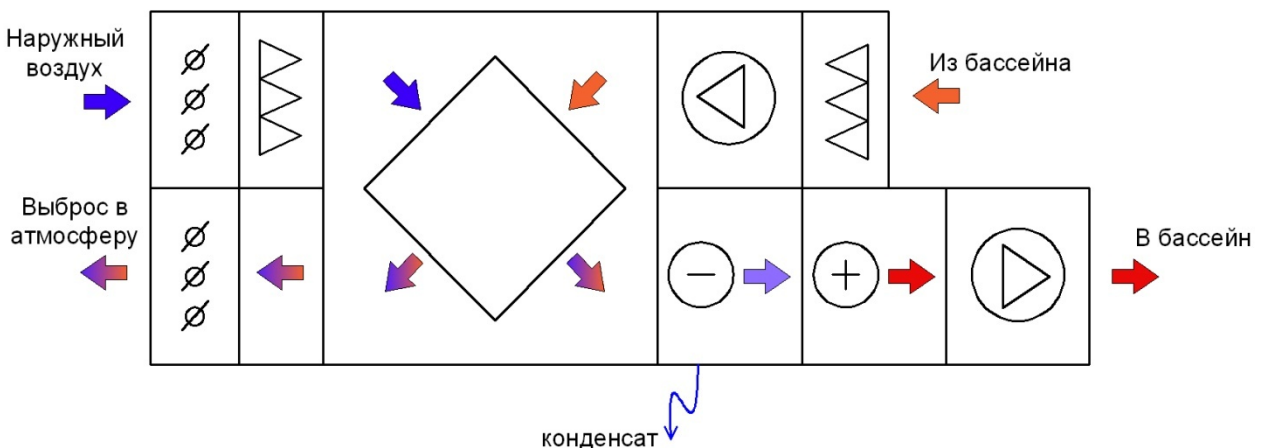


Рисунок 3. Схема с рекуперацией

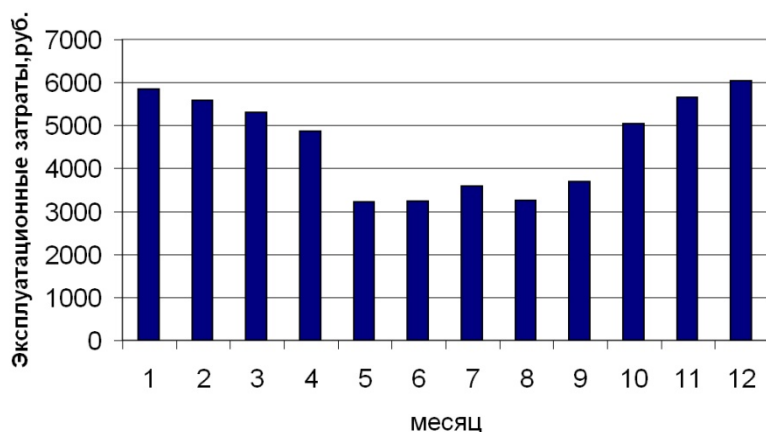


Рисунок 4. Эксплуатационные затраты

3 вариант (рис. 5). Для ассимиляции избытков влаги подается смесь осушенного воздуха и нагретого наружного воздуха.

Система состоит из приточной и вытяжной установок, пластинчатого теплообменника, водяного нагревателя и теплового насоса.

Пластинчатый теплообменник играет роль рекуператора тепла – нагрев приточного воздуха. Тепловой насос выполняет две функции: осушает рециркуляционный воздух и догревает смесь наружного и внутреннего воздуха [6].

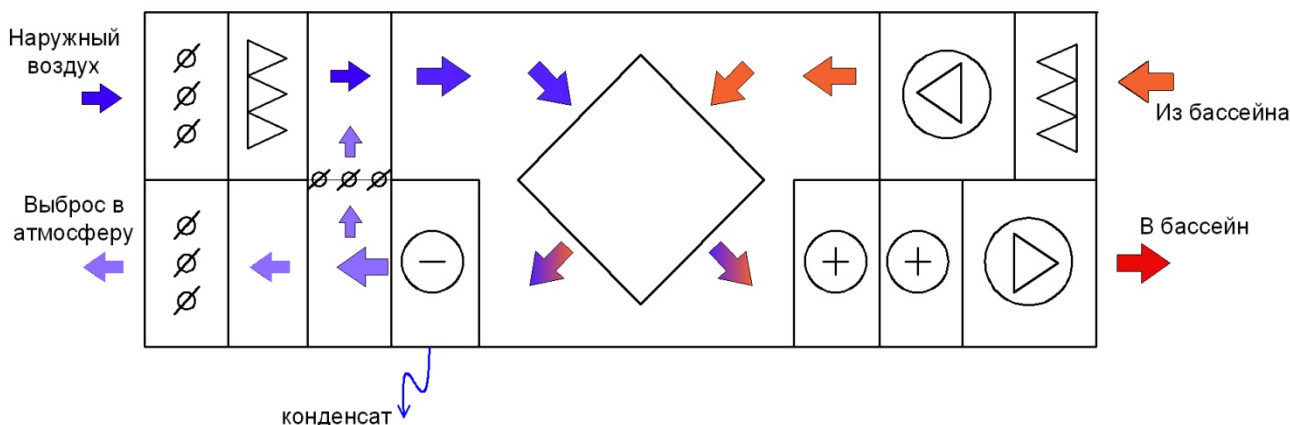


Рисунок 5. Схема с рециркуляцией и утилизацией тепла внутреннего воздуха

#### А. Период «использования» бассейна (8 часов)

Согласно СП 31-113-2004 «Бассейны для плавания» минимально требуемое количество свежего воздуха составляет  $80 \text{ м}^3/\text{ч}$  на одного занимающегося:

$$L = N_{\text{чел}} \cdot 80 \text{ м}^3 / \text{ч}, \quad (9)$$

где  $F$  – площадь зеркала воды,  $\text{м}^2$ .

Количество влаги, ассимилируемое нагретым свежим воздухом:

$$W_{\text{асс}} = \frac{L \cdot \gamma_v \cdot \Delta d}{c_v}, \quad (10)$$

где  $\gamma_v, c_v$  – удельный вес и удельная теплоемкость воды.

Теоретически требуется  $Q_{\text{тепл}}$  (6).

Пластинчатый теплообменник рекуперировывает 50% тепла из удаляемого воздуха:

$$Q_{PEK} = 0,5 \cdot Q_{менл}. \quad (7)$$

Тепловой насос рекуперировывает оставшуюся теплотребность:

$$Q = Q_{менл} - Q_{PEK}. \quad (8)$$

Коэффициент энергетической эффективности КЭЭ теплового насоса – 4 [6].

Электрическая мощность, расходуемая в тепловом насосе:

$$N_{Эл} = \frac{Q}{4}. \quad (11)$$

### Б. Период «бездействия» бассейна (16 часов)

В данном режиме происходит полная рециркуляция без наружного воздуха с осушением внутреннего.

Выделение тепла в тепловом насосе при осушении воздуха от выпадения влаги:

$$Q_{Вл} = \sum W \cdot r_{скр}, \quad (12)$$

где  $r_{скр}$  – скрытая теплота на испарение влаги.

Электрическая мощность, расходуемая в тепловом насосе:

$$N_{Эл} = \frac{Q}{4}. \quad (11)$$

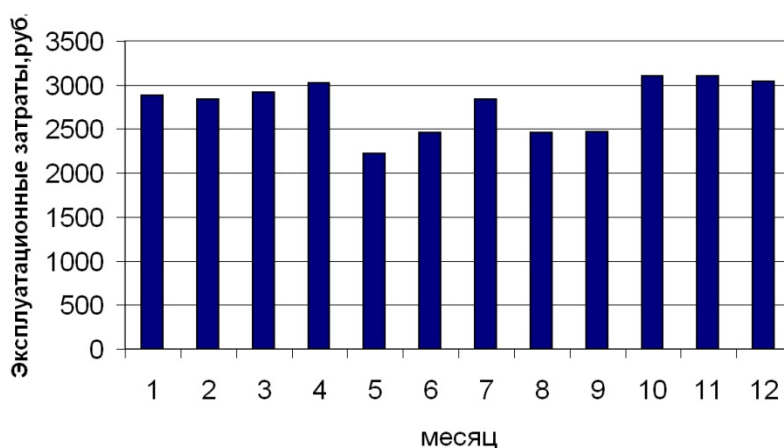


Рисунок 6. Эксплуатационные затраты

### Расчет степени эксплуатационной надежности

Основной критерий надежности систем вентиляции и кондиционирования воздуха – безотказная работа системы или отдельных ее элементов  $P(x)$  в течение заданной продолжительности работы  $x$  часов [2].

Вероятность безотказной работы при параллельном по надежности включении элементов:

$$P(x) = 1 - (1 - P_{эл}(x))^n, \quad (13)$$

где  $P_{эл}(x)$  – вероятность безотказной работы элемента системы;

$n$  – число параллельно включенных элементов одного назначения.

Вероятность безотказной работы при последовательном по надежности включении элементов:

$$P(x) = P_1(x) \cdot P_2(x) \cdot P_3(x) \dots P_n(x), \quad (14)$$

где  $n$  – число последовательно включенных элементов при вероятностях их безотказной работы  $P_1, P_2, \dots, P_n$ .

Экономия эксплуатационных затрат:

$$\Delta = \frac{\mathcal{E}_{\text{баз}} - \mathcal{E}_i}{\mathcal{E}_{\text{баз}}}, \quad (15)$$

где  $\mathcal{E}_i$  – годовые эксплуатационные затраты системы, руб.;

$\mathcal{E}_{\text{баз}}$  – годовые эксплуатационные затраты традиционной приточно-вытяжной системы, руб.

Экономия эксплуатационных затрат с учетом надежности:

$$\Delta_{\text{над}} = \Delta \cdot P(x). \quad (16)$$

**Таблица 1. Экономия эксплуатационных затрат**

Вар.	Система	Вероятность безотказной работы	Экономия эксплуатационных затрат без учета надежности	Экономия эксплуатационных затрат с учетом надежности
Вар.1	Прямочная осушитель +	0,149	-	-
Вар.2	Рекуперация осушитель +	0,156	46,6%	7,3%
Вар.3	Рекуперация + Рециркуляция+ ТН	0,355	70%	24,9%

### Расчет приведенных затрат и эффективности системы

Экономическая целесообразность применения энергосберегающих решений определяется исходя из сравнительной экономической эффективности капитальных вложений, необходимых для осуществления такого мероприятия, т.е. сопоставляют затраты и результаты, полученные при этих затратах. Экономически наиболее целесообразным является вариант решения, при котором минимальны приведенные затраты

$P_{\text{рив. затр.}}$ , являющиеся суммой эксплуатационных затрат  $\mathcal{E}_{\text{ксп. затр.}}$  и капитальных вложений  $K_{\text{ан. затр.}}$ ,

приведенных к одинаковой размерности в соответствии с нормативным коэффициентом сравнительной эффективности капитальных вложений [2].

$$P_{\text{рив. затр.}} = \mu \cdot K_{\text{ан. затр.}} + K_{\text{плоч. сист.}} + Y \cdot (\mathcal{E}_{\text{ксп. затр.}} - \Delta_{\text{над}} \cdot \mathcal{E}_{\text{ксп. затр.}}), \quad (17)$$

где  $P_{\text{рив. затр.}}$  – приведенные затраты, руб.;

$K_{\text{ан. затр.}}$  – капитальные затраты, руб.;

$K_{\text{плоч. сист.}}$  – затраты на площадь, занимаемой системой, руб.;

$\mathcal{E}_{\text{ксп. затр.}}$  – годовые эксплуатационные затраты, руб.;

$\mu$  – коэффициент при различных сроках службы системы и сроках учета капитальных вложений и эксплуатационных затрат;

$Y$  – коэффициент, служащий для приведения одинаковых по величине годовых эксплуатационных затрат к уровню базисного года;

$\Delta_{\text{над}}$  – экономия эксплуатационных затрат с учетом надежности системы.

Эффективность технологии:

$$\mathcal{E}_{\text{ф}} = P_{\text{баз}} - P_i. \quad (18)$$

Срок полной окупаемости системы:

$$\frac{K_{\text{ан.затр}}}{\Delta \mathcal{E}} = \frac{K_{\text{ан.затр}} + K_{\text{плоч.сист}}}{\mathcal{E}_{\text{баз}} - \mathcal{E}_{\text{ксп.затр}}}. \quad (19)$$

Таблица 2. Сводная таблица

Система	Эксплуатационные затраты, руб.	Капитальные затраты, руб.	Затраты на площадь, занимаемую системой, руб.	Приведенные затраты	Эффективность	Срок окупаемости
Прямоточная + осушитель	103659	154236	49995	1359795	-	-
Рекуперация + осушитель	55326	468568	113124	1213157	146639	12,0
Рекуперация + рециркуляц + ТН	33870	510989	135744	1019895	339901	9,2

Тенденция высокого роста стоимости топливно-энергетических ресурсов, сокращение запасов ресурсов, возрастающая с каждым годом потребность в тепловой энергии привели к необходимости тщательного выбора системы кондиционирования воздуха и экономического обоснования этого выбора [5].

По полученным результатам можно сделать вывод, что не смотря на увеличение капитальных затрат, наиболее эффективным решением является система центрального кондиционирования с секцией осушения воздуха и рекуператором.

### Литература:

- Хасанов А. О. Некоторые аспекты микро-климатической поддержки в крытых бассейнах и аквапарках / А. О. Хасанов, А. В. Стариков, С. А. Хорошилов, Е. П. Вишневский, М. Ю. Салин // С.О.К. 2008. №11. URL: <http://www.c-o-k.ru/showtext/?id=2133&from=online&params=num%3D11> (дата обращения: 16.02.2011).
- Богуславский Л. Д. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха: Справочное пособие. М. : Стройиздат, 1990. 624 с.
- Белова Е. М. Системы кондиционирования воздуха с чиллерами и фэнкойлами. М. : Евроклимат, 2003. 640 с.
- Вишневский Е. П. Анализ особенностей использования основных методов осушения воздуха // Технический бюллетень. 2003. №1. С. 4-6.
- Вишневский Е. П. Рекуперация тепловой энергии в системах вентиляции и кондиционирования воздуха // С.О.К. URL: <http://www.c-o-k.ru/showtext/?id=845&from=online&params=num%3D11> (дата обращения: 16.02.2011).
- Жданов И. А. Экономический аспект применения осушителей в бассейнах / И. А. Жданов, А. П. Данченков // Аквалайф. 2001. №9. URL: <http://uel.ru/downloads/Dth-article3.pdf> (дата обращения 16.02.2011).
- Харитонов В. П. Проектирование систем вентиляции для закрытых бассейнов в коттеджах // АВОК. – 2007. – №6. – С. 52-60.
- Влагоудаление в крытых бассейнах // Сантехника. 2001. №5. С. 15.
- Влажный воздух : Справочное пособие АВОК 1-2004. М. : АВОК-ПРЕСС, 2004. 46 с.
- Ананьев В. А. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика / В. А. Ананьев, Л. Н. Балуева, В. П. Мурашко. М. : Евроклимат, 2008. 503 с.
- Сотников А. Г. Процессы, аппараты и системы кондиционирования воздуха и вентиляции. СПб. : АТ, 2005. 504 с.
- Кокорин О. Я. Современные системы кондиционирования воздуха. М. : Издательство физико-математической литературы, 2003. 272 с.
- Справочник проектировщика. Часть 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха / Под ред. И. Г. Староверова, Н. Н. Павлова, Ю. И. Шиллера. М. : Стройиздат, 1992. 319 с.
- Harriman, L. G., Judge J. Dehumidification equipment advances // ASHRAE Journal. 2002. №44(8). P. 22-27.
- Harriman L. G., Plager D., Kosar D. R. Dehumidification and cooling loads from ventilation air // ASHRAE Journal. 1997. №39(11). P. 37-45.

*\*Екатерина Михайловна Титова, Санкт-Петербург, Россия*

*Тел. моб.: +7(951)663-53-86; эл. почта:6635386@gmail.com*