

УДК 621.577; 697.34

# Анализ применения теплонасосной установки на предприятиях аквакультуры

А. И. МАКОВСКАЯ, канд. техн. наук А. Э. СУСЛОВ,

д-р техн. наук Ю. А. ФАТЫХОВ

Калининградский государственный технический университет

236011, Калининград, Советский пр., 1

**Present-day growth of a number of aquaculture businesses on the territory of Russian Federation is one of priority development trends. Water heating costs greatly affect profitability of the enterprise. To enhance efficiency variants of using traditional energy resources and a heat pump plant are considered. Application of a heat pump will reduce costs on indispensable technological equipment and will meet the requirement of making the business environmentally friendly.**

**Key words:** aquaculture, heat pump plant, thermal preparation, closed water supply plant.

**Ключевые слова:** аквакультура, теплонасосная установка, термоподготовка, установка замкнутого водообеспечения (УЗВ).

В настоящее время аквакультура является одной из самых быстрорастущих отраслей пищевого производства в нашей стране и в мире, способствует обеспечению населения продовольствием. После принятия Министерством сельского хозяйства Российской Федерации в 2007 г. «Стратегии развития аквакультуры в Российской Федерации на период до 2020 г.» она приобрела статус важнейшего направления функционирования агропромышленного, рыбохозяйственного и природоохранного комплексов нашей страны, обеспечивающих продовольственную безопасность государства [1].

При принятии решения о строительстве предприятия аквакультуры обязательным является вопрос выбора способа термоподготовки воды, подаваемой в инкубационные установки и бассейны, напрямую влияющий на рентабельность предприятия при дальнейшей эксплуатации. Поддержание неизменного в течение всего года и определенного для каждого вида рыбы температурного режима достигается за счет нагрева воды в холодный период и ее охлаждения в теплый период года.

Для этих целей в системах водоподготовки используются холодильные машины для охлаждения и три способа нагрева воды:

- теплоносителем от котельной;
- электрическими нагревателями;
- тепловыми насосами.

Схема нагрева воды теплоносителем или электрическим нагревателем в холодный период года и ее охлаждения с помощью холодильной машины в теплый сезон в установке для выращивания рыб с замкнутым циклом

водообеспечения (УЗВ) показана на рис. 1. В установку входит бассейн 1, на выходе из которого установлен микрофильтр 2, имеющий собственную систему очистки сита струей воды под напором. Грязь удаляется из сита вместе с промывочной водой. Очищенная в микрофильтре вода подается в биологический фильтр 3. После биофильтра вода накапливается в емкости 4 и далее насосом 5 через бактерицидные облучатели 6, песчаный фильтр 7 и аэратор 8 нагнетается в балластную емкость 9. Подпитка свежей водой 10 осуществляется в балластную емкость, а удаление избыточной загрязненной воды из системы 15 — через перелив емкости 4. Далее насосом 5 вода подается в бассейн через проточный нагреватель 11, в котором она нагревается в холодный период года, или через испаритель 12 холодильной машины (ХМ), в котором охлаждается в теплый сезон.

На рис. 2 изображена схема УЗВ с использованием теплового насоса (ТН). Процесс очистки воды и необходимое для этого оборудование такие же, как и в первом варианте. Различие состоит в том, что функции теплообменника и холодильной машины выполняет тепловой насос, который включает в себя два испарителя 12, позволяющих использовать сбрасываемую воду как источник низкопотенциального тепла в холодный период года или охлаждать воду, подаваемую в УЗВ, в теплый период года. Для поддержания необходимого температурного режима в установке производится подпитка УЗВ водой из скважины 10 в теплый период и из скважины 16 — в холодный, а также сброс воды в скважины 11 и 15, соответственно, в теплый и холодный периоды года.

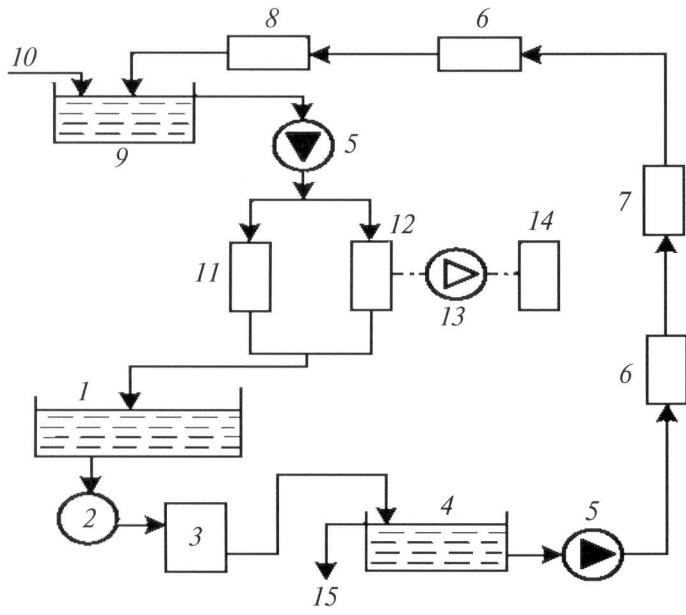


Рис. 1. Принципиальная схема замкнутой установки для выращивания молоди рыб:

1 — бассейн для рыб; 2 — микрофильтр;  
3 — биологический фильтр;  
4 — накопительная емкость;  
5 — насос; 6 — бактерицидные облучатели;  
7 — песчаный фильтр; 8 — аэратор;  
9 — балластная емкость; 10 — подпитка;  
11 — проточный нагреватель воды;  
12 — испаритель ХМ; 13 — компрессор ХМ;  
14 — конденсатор ХМ; 15 — сброс воды

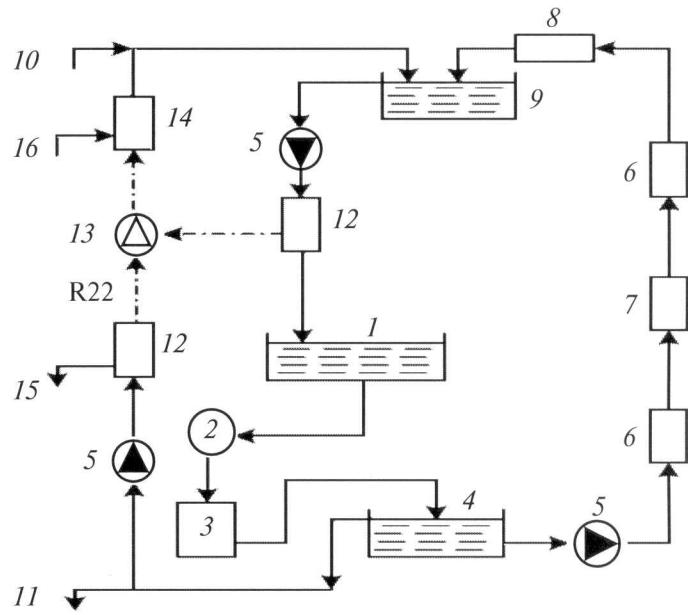


Рис. 2. Принципиальная схема замкнутой установки с тепловым насосом для выращивания молоди рыб:

1 — бассейн для рыб; 2 — микрофильтр;  
3 — биологический фильтр; 4 — накопительная емкость;  
5 — насос; 6 — бактерицидные облучатели;  
7 — песчаный фильтр; 8 — аэратор;  
9 — балластная емкость; 10 — подпитка в теплый период;  
11 — сброс воды в теплый период; 12 — испаритель ТН;  
13 — компрессор ТН; 14 — конденсатор ТН;  
15 — сброс воды в холодный период;  
16 — подпитка в холодный период

Термоподготовка воды на предприятиях аквакультуры весьма энергозатратна, а растущие ежегодно тарифы на энергоресурсы повышают издержки производства, приводя к снижению рентабельности предприятия. Однако не всегда, даже при наличии экономии топлива, эксплуатация ТН может быть экономически выгодна. Это зависит также от уровня цен на энергоносители, который определяется экономической политикой государства [2].

По прогнозу Правительства РФ о развитии экономики на 2011–2013 гг., рост цен на электроэнергию в России ежегодно будет составлять 10–12 %, на газ — 15 %, на уголь энергетический — около 10 %, на мазут топочный — 5 % ежегодно.

В 2010 г. оптовые цены в Калининградской области на энергоресурсы составляли: на газ — 2544 руб. за 1000 м<sup>3</sup>; электроэнергию — 2,73 руб./(кВт·ч); мазут — 10000 руб./т, уголь — 3700 руб./т (средняя цена). Анализируя эти данные, можно спрогнозировать отпускные цены на газ и электроэнергию в 2013 г. — 3870 руб./тыс. м<sup>3</sup> и 3,84 руб./(кВт·ч). Цены на мазут и уголь рядовых марок, согласно прогнозам, к 2013 г. составят 12700 и 4285 руб. за тонну соответственно.

Выбирая способ нагрева воды для предприятий аквакультуры, необходимо принимать во внимание не только

экономическую выгоду от экономии первичной энергии, но и влияние на экологическую обстановку, поскольку для аквакультуры весьма важна чистота территории, где выращивается рыба. Для угольных котельных полная очистка дымовых газов практически неосуществима, наиболее совершенные методы очистки обеспечивают отделение главным образом твердых фракций и не позволяют устранить выделение в атмосферу сернистого газа и других вредных примесей. Системы качественной очистки продуктов сгорания достаточно дороги и сравнимы по стоимости с котельной.

В европейских странах для снижения выбросов сернистого газа в атмосферу действует стандарт на предельное содержание серы в углях, используемых для целей отопления. При использовании теплового насоса такие выбросы отсутствуют и делаются термоподготовку воды для УЗВ экологически чистой, что также необходимо учитывать при выборе системы термоподготовки [3].

Тепловой насос, потребляя меньше электрической энергии, чем электрическая котельная, использует для термоподготовки воды теплоту из установки УЗВ, а при ее недостаточности может использовать теплоту водопровода, как правило, расположенного рядом с предприятием аквакультуры. Тепловой насос позволяет не только на-

гревать, но и охлаждать воду в теплый период года, что уменьшает количество необходимого технологического оборудования, а соответственно, и капитальные затраты.

В большинстве случаев критерием эффективности применения ТН является экономический эффект, определяемый путем сопоставления приведенных затрат базового и альтернативного вариантов, при этом оптимальное решение соответствует условию

$$Z = E_h \cdot K + C = \min,$$

где  $Z$  — приведенные затраты, руб.;

$E_h$  — экономическая норма дисконта, 1/год;

$K$  — капитальные затраты, руб.;

$C$  — ежегодные издержки производства, руб./год.

Нами был проведен сравнительный технико-экономический анализ для одного из предприятий Калининградской области, на котором проектируется система УЗВ (таблица).

### Результаты сравнительного расчета различных систем термоподготовки воды по прогнозируемым ценам энергоресурсов в 2013 г.

Показатель	Теплонасосная установка	Угольная котельная	Газовая котельная	Мазутная котельная	Электрическая котельная
Стоимость котельной с учетом вспомогательного оборудования, тыс. руб. ( $K_1$ )	2800	3100	3000	3200	2900
Стоимость холодильной машины, тыс. руб. ( $K_2$ )	—	1000	1000	1000	1000
Прогнозируемая региональная отпускная цена топлива, руб./т, руб./1000 м <sup>3</sup> (ОЦ)	—	4285	3870	12700	—
Прогнозируемая региональная отпускная цена электроэнергии, руб./кВт·ч (ОЦЭ)	3,84	3,84	3,84	3,84	3,84
Расход топлива, кг/ч, м <sup>3</sup> /ч (РТ)	—	45	36	32	—
Суточный расход топлива, т/сут, тыс. м <sup>3</sup> /сут (СРТ = РТ · 24)	—	1,08	0,86	0,77	—
Коэффициент использования тепловой мощности $K_{t.m}$ с учетом потребления тепла на собственные нужды	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6
Годовое потребление топлива, т/год, тыс. м <sup>3</sup> /год (ГРТ = СРТ · $K_{t.m}$ · Д)	—	160,3	127,6	114,3	—
Установленная электрическая мощность $N_y$ , кВт	70	10	8	15	300
Потребляемая электрическая мощность, кВт·ч/сут ( $N_p = N_y \cdot K_i \cdot 24$ )	1176	192	153,6	288	5040
Коэффициент использования оборудования $K_i$	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7
Годовое потребление электроэнергии, кВт·ч ( $E_{год} = N_p \cdot D$ )	249 312	40 704	32 563,2	61 056	1 068 480
Стоимость топлива, тыс. руб./год (СТ = ГРТ · ОЦ)	—	686,9	493,8	1451,6	—
Стоимость электроэнергии, тыс. руб./год (СЕ = $E_{год} \cdot ОЦЕ$ )	957,4	156,3	125,1	234,5	4103,0
Другие дополнительные эксплуатационные расходы, тыс. руб./год (СД)	—	54	14	64	—
Годовая составляющая капитальных затрат $E_h \cdot K$ , тыс. руб./год ( $E_h \cdot K = [(K_1 + K_2)E_h]$ )	224	328	320	336	312
Годовые эксплуатационные издержки производства, тыс. руб./год (С = СТ + СЕ + СД)	957,4	897,2	632,9	1750,1	4103,0
Приведенные затраты $Z$ , тыс. руб./год ( $Z = E_h \cdot K + C$ )	1181,4	1225,2	952,9	2086,1	4415
Затраты на выработку электроэнергии, т у.т./год ( $T_s = E_{год} \cdot K_s \cdot H$ )	62,8	10,3	8,2	15,4	269,3
Расход топлива, т у.т./год ( $T = ГРТ \cdot K_y$ )	—	224,4	106,3	83,8	—
Суммарные затраты топлива, т у.т./год ( $T_{\Sigma} = T_s + T$ )	62,8	234,7	114,5	99,2	269,3

Вода на подпитку системы УЗВ поступает из скважины, температура воды составляет плюс 9 °С, объем подпитки и сброса воды из системы УЗВ — 300 м<sup>3</sup> в сутки. Подогрев воды осуществляется до 32 °С, необходимая тепловая мощность установки 300 кВт. В качестве источников нагрева воды рассмотрены:

- 1) теплонасосный отопительный стенд (на базе теплонасосных агрегатов);
- 2) модульная котельная на твердом топливе (уголь);
- 3) модульная газовая котельная;
- 4) модульная мазутная котельная;
- 5) модульная электрическая котельная.

Для охлаждения воды в теплый период года применяется холодильная машина, стоимость которой учитывается во всех вариантах, кроме теплового насоса, используемого для охлаждения воды в процессе ее подготовки в теплый период. Электроэнергия, затраченная при работе в летний период на охлаждение воды, одинакова во всех вариантах, по этой причине ее стоимость в расчетах не учитывается.

Стоимость оборудования рассчитана по результатам статистической обработки стоимости оборудования различной мощности. Расход топлива принят усредненным по данным анализа различных производителей.

При расчетах учтено, что экономическая норма дисконта Е<sub>п</sub> 1/год равна 0,08; длительность периода нагрева воды Δ = 212 дней; коэффициент потерь электроэнергии при транспортировке K<sub>т</sub> = 1,2. При пересчете на условное топливо принято: K<sub>у</sub> = 0,833 для 1000 м<sup>3</sup> газа; K<sub>у</sub> = 0,733 для 1 т мазута; K<sub>у</sub> = 1,4 для 1 т угля.

По данным Минпромэнерго РФ, в 2009 г. выработка электроэнергии всеми электростанциями (в процентном отношении) составила: тепловыми — 66,6 %; атомными — 15,7 %; гидроэлектростанциями — 17,6 %.

Таким образом, в затратах на выработку 1 кВт·ч электроэнергии расход органического топлива составляет 66,6 %; при расчете затрат условного топлива потребителями электроэнергии при норме расхода условного топлива для тепловых станций 0,315 кг у.т./(кВт·ч) (данные РАО ЕЭС) норма удельного расхода топлива Н = 0,315 · 0,666 = 0,209 кг у.т./(кВт·ч).

Анализируя полученные данные, можно отметить, что по приведенным затратам газовая котельная является, хоть и незначительно, более дешевым вариантом. Однако, принимая во внимание годовые затраты условного топлива, прогноз стоимости газа на уровне мировых цен, ввод в Калининградской области Балтийской АЭС, что может повлиять на динамику цен на электричество, тепловые насосы на предприятиях аквакультуры становятся более перспективными источниками теплоснабжения, отвечающими ужесточающимся требованиям экологической безопасности производства.

## Список литературы

1. Стратегия развития аквакультуры в Российской Федерации на период до 2020 г. // Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. — М.: Росинформагротех, 2007.
2. Суслов А. Э., Фатыхов Ю. А., Эрлихман В. Н. О целесообразности применения теплонасосных установок в системах теплоснабжения // Холодильная техника. 2008. № 12.
3. Эрлихман В. Н., Фатыхов Ю. А., Суслов А. Э. Энергосбережение в технологических процессах агропромышленного комплекса с использованием теплонасосных установок. — Калининград: КГТУ, 2007.