

Очеретяный Ю. А.

Одесский  
национальный  
морской  
университет

Титлов А. С.

Одесская  
национальная  
академия  
пищевых  
технологий

УДК 629.125:621.575.932:621.565.92

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАЧКИ СУДНА НА РАБОТУ АБСОРБЦИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ (АХА)

*Представлені результати моделювання процесів гравітаційного перебігу рідкої фази робочого тіла абсорбційних холодильних агрегатів в умовах морської хитавиці на малих судах. Приведені розрахункові умови стабільної експлуатації холодильних приладів.*

*The results of design of processes of gravity flow of liquid phase of working body of absorption refrigeration aggregates are presented in the conditions of the marine tossing on small courts. Calculation stable external of refrigeration devices environments are resulted.*

*Ключевые слова: абсорбционный холодильный агрегат, малые суда, гравитационное течение, качка.*

Бытовые охлаждающие приборы являются необходимым элементом быта современного человека, в том числе и при путешествиях на различных видах транспорта. На малом водном транспорте (спортивных и круизных катерах и яхтах) особый интерес вызывает использование абсорбционных холодильных приборов (АХП), в состав которых входят безнасосные абсорбционные холодильные агрегаты (АХА). Такой интерес в первую очередь связан возможностью работы АХА с неэлектрическими источниками тепловой энергии — как с горелочными устройствами, так и с источниками низкопотенциального бросового тепла. Применение компрессионных и термоэлектрических моделей холодильников в таких условиях предполагает наличие дополнительных аккумуляторных батарей, которые увеличивают вес судна.

К другим отличительным качествам АХП относят отсутствие в конструкции движущихся элементов и связанную с этим бесшумность в работе, высокую надёжность и длительный ресурс, возможность использования в одном АХА нескольких источников тепловой энергии различной физической природы. Источниками энергии АХП могут быть как электрические, так и неэлектрические источники тепла (солнечное излучение, теплота сгорания биогаза, природного и сжиженного газа, дизельного топлива, керосина, рапса, выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания [1]).

В течении многих лет ведущие производители абсорбционной холодильной техники, в частности, фирмы «Elektrolux», «Bosh», «Gronland», а также отечественный производитель — Васильковский завод холодильников, выпускают переносные или транспортные модели АХП, имеющими возможность работать с различными источниками энергии [2]. Переносные модели, как правило, имеют небольшой полезный объем (от 30 до 50 дм<sup>3</sup>) и преимущественно используются для кратковременного (3-5 дней) хранения продуктов питания и полуфабрикатов, в том числе и на маломерных судах.

Вместе с тем производители переносных АХП не предполагают возможность их работы в условиях морской качки.

Различают несколько типов качки, вызываемой морскими ветровыми волнами, действующих на судно (рис. 1):

а) килевая качка — выражается в подъеме и опускании носовой и кормовой частей судна;

б) бортовая качка — переменное наклонение судна на один или другой борт;

в) вертикальная качка — общий подъем и опускание судна.

Важно отметить, что АХА жестко связан с корпусом судна и вынужден воспринимать все колебательные возмущения окружающей водной среды, а основные гидродинамические



процессы сводятся к гравитационному течению тонких слоев жидкой фазы рабочего тела по слабонаклонным (около 5° [3-5]) к горизонтальной плоскости трубчатым элементам — конденсатору, испарителю и абсорберу.

Вертикальная качка не влияет на процессы гравитационного течения жидкой фазы рабочего тела, а бортовая качка может быть компенсирована при помощи

оригинального устройства, способного постоянно поддерживать холодильник в горизонтальном положении [6]. При таком положении неблагоприятное воздействие на процессы течения рабочего тела в АХА может оказывать только килевая качка. Килевая качка может создать условия, при которых нарушатся гравитационные режимы течения и работа АХА станет невозможна.

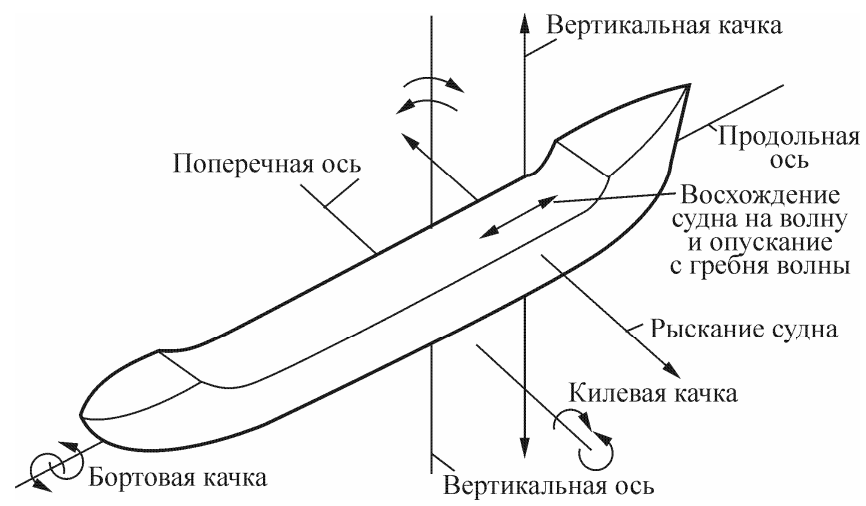


Рис. 1. Типы качки маломерного судна

Для определения перспектив работы АХП на малом водном транспорте было проведено математическое моделирование влияния килевой качки судна на процессы гравитационного течения по слабонаклонным поверхностям АХА в условиях регулярного волнения на море.

При работе АХА пленочное течение жидкой фазы рабочего тела является преобладающими во всех его элементах (рис. 2): в конденсаторе жидкий аммиака стекает по наклонной поверхности в испаритель; в испарителе — течение жидкого аммиака по наклонной змеевиковой поверхности; в абсорбере происходит течение слабого водоаммиачного раствора в противотоке с водородоаммиачной смесью.

В качестве определяющих соотношений при гравитационном пленочном течении примем формулы для толщины пленки жидкости при ламинарном течении по наклонной поверхности [7, 8]. При обычном гидродинамическом течении пленки, если известна плотность орошения жидкости, толщина слоя жидкости равна

$$\delta = \sqrt[3]{\frac{3v_{жс} \cdot q_0}{\sin(\alpha + \psi)}} \quad (1)$$

При пленочной конденсации на наклонной поверхности толщина конденсата определяется соотношением

$$\delta = 4 \sqrt[4]{\frac{4\lambda_{жс} \cdot \mu_{жс} \cdot (T_n - T_c) \cdot x}{r \cdot \rho_{жс}^2 \cdot g \cdot \sin(\alpha + \psi)}} \quad (2)$$

где  $\lambda_{жс}$  — коэффициент теплопроводности конденсата, Вт/(м·К);  
 $\mu_{жс}$  — коэффициент динамической вязкости конденсата, Па·с;  
 $\rho_{жс}$  — плотность конденсата, кг/м<sup>3</sup>;  
 $r$  — теплота фазового перехода, Дж/кг;  
 $T_n$  — температура насыщения пара, К;  
 $T_c$  — температура наклонной поверхности, К;  
 $x$  — продольная (вдоль наклонной поверхности), м;  
 $\alpha$  — угол отклонения рабочих наклонных поверхностей АХА от горизонтали.

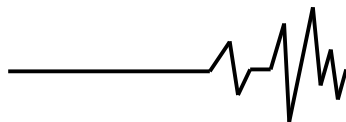
Из формул (1) и (2) видно, что при угле качки

$$\psi = -\alpha \quad (3)$$

данные соотношения теряют смысл, т. е. в таком случае гидродинамическое течение отсутствует.

Далее проведем исследования качки судна на предмет определения амплитуды качки

$$\psi = \psi(t) \quad (4)$$



Качка судна при умеренной скорости хода определяется следующей системой уравнений [9, 10]:

— для вертикальной качки

$$\left(\frac{D}{g} + \Delta M\right) \cdot \ddot{\zeta} + v_{\zeta} \dot{\zeta} + \gamma S \zeta - v_0 \Delta M \dot{\Psi} - v_0 v_{\zeta} \Psi = r_0 \cdot (\gamma a_0 - \sigma^2 a_0'') \cdot \cos \sigma_{\kappa} t - r_0 \sigma a_0' \sin \sigma_{\kappa} t; \quad (5)$$

— для килевой качки

— для расчета килевой качки

$$\left[ (DH - v_0^2 \Delta M) - \sigma_{\kappa}^2 (J_y + \Delta J_y) \right] \cdot \Psi_1 + \left( v_{\psi} + \frac{v_0^2}{\sigma_{\kappa}^2} v_{\zeta} \right) \cdot \sigma_{\kappa} \Psi_2 = -r_0 \sigma b_1'; \quad (8)$$

$$-\left( v_{\psi} + \frac{v_0^2}{\sigma_{\kappa}^2} v_{\zeta} \right) \cdot \sigma_{\kappa} \Psi_1 + \left[ (DH - v_0^2 \Delta M) - \sigma_{\kappa}^2 (J_y + \Delta J_y) \right] \cdot \Psi_2 = -r_0 (\gamma b_1 - \sigma^2 b_1'');$$

— для расчета вертикальной качки

$$\left[ \gamma S - \sigma_{\kappa}^2 \left( \frac{D}{g} + \Delta M \right) \right] \cdot \zeta_1 + v_{\zeta} \sigma_{\kappa} \zeta_2 = v_0 \Delta M \sigma_{\kappa} \Psi_2 + v_0 v_{\zeta} \Psi_1 + r_0 (\gamma a_0 - \sigma^2 a_0'') \quad (9)$$

$$-v_{\zeta} \sigma_{\kappa} \zeta_1 + \left[ \gamma S - \sigma_{\kappa}^2 \left( \frac{D}{g} + \Delta M \right) \right] \cdot \zeta_2 = -v_0 \Delta M \sigma_{\kappa} \Psi_1 + v_0 v_{\zeta} \Psi_2 - r_0 \sigma a_0'.$$

Наибольшие значения амплитудных функций

$$\Psi = \sqrt{\Psi_1^2} + \sqrt{\Psi_2^2} \quad \text{и} \quad \zeta = \sqrt{\zeta_1^2} + \sqrt{\zeta_2^2} \quad (10)$$

достигается при совпадении частот вынужденных и свободных колебаний

$$\sigma_{\kappa} = \sqrt{\frac{DH - v_0^2 \Delta M}{J_y + \Delta J_y}}. \quad (11)$$

В уравнениях (5)-(11) приняты следующие обозначения:

$D$  — водоизмещение судна, т;

$H$  — продольная метацентрическая высота, м;

$v_0$  — скорость судна, м/с;

$\Delta M$  — величина присоединенной массы, т·с<sup>2</sup>/м;

$\sigma_{\kappa}$  — кажущаяся частота волн, 1/с;

$J_y$  — момент инерции масс судна вокруг оси  $y$ , тм·с<sup>2</sup>;

$\Delta J_y$  — присоединенный момент инерции, тм·с<sup>2</sup>;

$\Psi_1, \Psi_2, \zeta_1, \zeta_2$  — постоянные величины, представляющие амплитудные значения вертикальной и килевой качки;

$v_{\psi}, v_{\zeta}$  — коэффициенты сопротивления;

$r_0$  — амплитуда волны, м;

$\alpha_0$  — коэффициент главной части возмущающих сил;

$b_1$  — ширина соответствующего шпангоута по действующую ватерлинию, м;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$  — ускорение силы тяжести.

Для расчета продольной качки яхты «Архимед» приняты следующие значения: длина судна  $L = 6,45$  м; ширина судна  $B = 2,1$  м;

$$\left( J_y + \Delta J_y \right) \cdot \ddot{\Psi} + \left( v_{\psi} + \frac{v_0^2}{\sigma^2} v_{\zeta} \right) \cdot \dot{\Psi} + (DH - v_0^2 \Delta M) \cdot \Psi = -r_0 \sigma b_1' \cos \sigma_{\kappa} t - r_0 \cdot (\gamma b_1 - \sigma^2 b_1'') \cdot \sin \sigma_{\kappa} t. \quad (6)$$

Рассматриваются вынужденные колебания судна

$$\zeta = \zeta_1 \cos \sigma_{\kappa} t + \zeta_2 \sin \sigma_{\kappa} t;$$

$$\Psi = \Psi_1 \cos \sigma_{\kappa} t + \Psi_2 \sin \sigma_{\kappa} t. \quad (7)$$

Амплитудные функции  $\zeta_1, \zeta_2, \Psi_1, \Psi_2$  определяются из алгебраической системы уравнений:

осадка судна  $T = 0,91$  м; водоизмещение  $D = 2,55$  т; аппликата центра тяжести судна  $Z_G = 2,5$  м; продольная метацентрическая высота  $H_0 = 5,43$  м; моменты инерции площади ватерлинии:  $I_x = 1,83 \text{ м}^4$ ;  $I_y = 16,977 \text{ м}^4$ ; абсцисса центра тяжести площади ватерлинии  $x_f = -0,42$  м; абсцисса центра тяжести судна  $x_G = -0,5$  м; площадь действующей ватерлинии  $S = 8,1 \text{ м}^2$ ; радиус инерции масс судна  $\rho_y = 1,48$  м; плотность воды  $\gamma = 1,025 \text{ т/м}^3$ ; массовая плотность воды  $\rho = 0,1045 \text{ тс}^2/\text{м}^4$ .

Значения безразмерного коэффициента волнового сопротивления и присоединенной массы воды при вертикальных колебаниях определены по графикам А.З. Салькова [9].

Параметры ветровой (возмущающей) волны [10] определены по экспериментальным данным [11]. Для этих данных был проведен регрессионный анализ по методу наименьших квадратов.

В ходе анализа были получены следующие зависимости:

а) зависимость высоты ветровой волны на глубокой воде от скорости ветра (рис. 3) определяется следующим соотношением

$$h = a_h + b_h V^{c_h}, \quad (12)$$

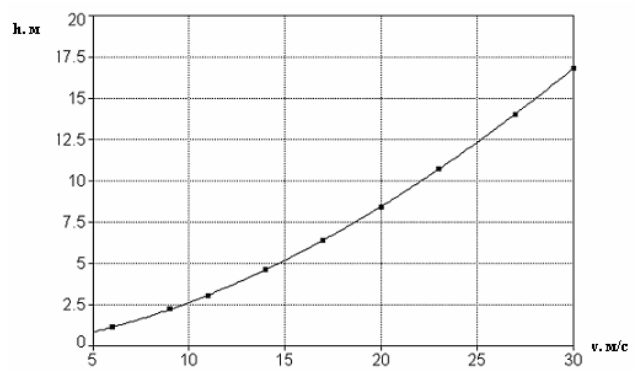
где  $h$  — высота волны, м;

$V$  — скорость ветра, м/с;

$a_h = 0,025024966$ ;  $b_h = 0,050459099$ ;

$c_h = 1,7069782$ ;

коэффициент регрессии —  $r^2 = 0,99998$ ;

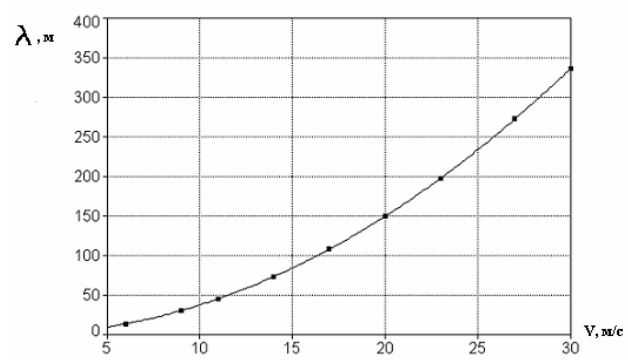


**Рис. 3. Зависимость высоты ветровой волны на глубокой воде от скорости ветра**

б) зависимость длины ветровой волны от скорости ветра (рис. 4) может быть определена следующим соотношением

$$\lambda = a_\lambda + b_\lambda V^{c_\lambda}, \quad (13)$$

где  $\lambda$  — длина волны, м;  
 $V$  — скорость ветра, м/с;  
 $a_\lambda = -0,28276687$ ;  $b_\lambda = 0,36898769$ ;  
 $c_\lambda = 2,0036748069782$ ;  
 коэффициент регрессии —  $r^2 = 0,99999$ ;

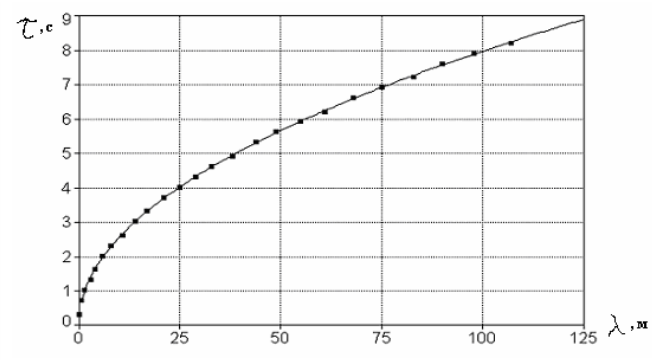


**Рис. 4. Зависимость длины ветровой волны от скорости ветра**

в) зависимость периода колебаний от длины ветровой волны (рис. 5) определяется следующим образом

$$\tau = a_\tau + b_\tau \lambda^{c_\tau}, \quad (14)$$

где  $\lambda$  — длина волны, м;  
 $\tau$  — период волны, 1/с;  
 $a_\tau = -0,042945843$ ;  $b_\tau = 0,829615$ ;  
 $c_\tau = 0,49200944$ ;  
 коэффициент регрессии —  $r^2 = 0,99978$ .



**Рис. 5. Зависимость периода колебаний от длины ветровой волны**

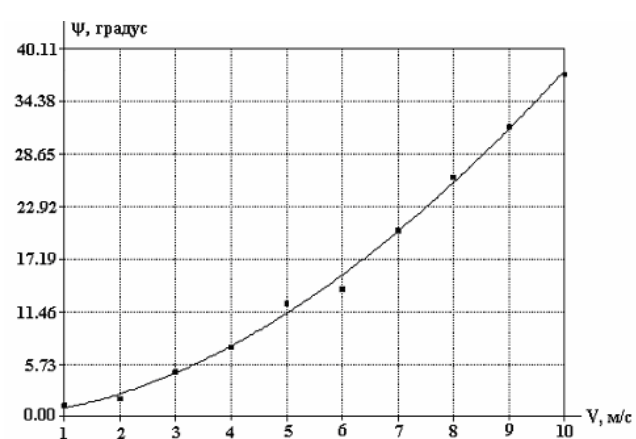
При изменении скорости ветра от 1 м/с до 10 м/с для условий эксплуатации яхты «Архимед» [12] были получены значения параметров ветровой волны на глубоком море (табл. 1). По данным значениям параметров ветровой волны проводится расчет килевой качки и вертикальных колебаний яхты в зависимости от скорости ветра  $v$ , и скорости хода судна  $v_0$ . Расчет амплитудных функций (10) проводится с использованием программ, разработанных в среде MATLAB. Значения амплитудных функций килевой качки  $\psi$  и вертикальной качки  $\zeta$  приведены в табл. 2.

Статистическая обработка результатов, приведенных в табл. 2 по методу наименьших квадратов по величине амплитудной функции килевой качки, дает следующую зависимость

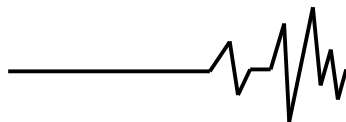
$$\psi = a_\psi + b_\psi V^{c_\psi}, \quad (15)$$

где  $V$  — скорость ветра, м/с;  
 $a_\psi = 0,00230873$ ;  $b_\psi = 0,0110393$ ;  
 $c_\psi = 1,7725574$ ;  
 коэффициент регрессии —  $r^2 = 0,9970$ .

График зависимости (15) представлен на рис. 6.



**Рис. 6. Зависимость амплитуды килевой качки от скорости ветра**



Таблиця 1

**Расчетные параметры ветровой волны**

Скорость ветра, м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Высота волны, м	0,3007	0,4149	0,5794	0,788	1,0374	1,3248	1,6482	2,0061	2,3971	2,82
Длина волны, м	0,65175	1,76248	3,61709	6,21672	9,56218	13,6540	18,4929	24,0791	30,4130	37,4950
Крутизна волны	0,46	0,24	0,16	0,13	0,11	0,1	0,09	0,08	0,08	0,07
Период колебаний, с	0,6291	1,0535	1,5187	1,9956	2,4766	2,9592	3,4425	3,9258	4,4091	4,8921
Частота колебаний, 1/с	9,9874	5,9643	4,1371	3,1486	2,537	2,1232	1,8252	1,6005	1,4251	1,2844
Скорость волны, м/с	1,0360	1,6730	2,3816	3,1152	3,8670	4,6141	5,3720	6,1335	6,8978	7,6645

Таблиця 2

**Расчетные параметры вертикальной и килевой качки**

Скорость ветра, м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Высота волны, м	0,3007	0,4149	0,5794	0,788	1,0374	1,3248	1,6482	2,0061	2,3971	2,82
Частота колебаний, 1/с	9,9874	5,9643	4,1371	3,1486	2,537	2,1232	1,8252	1,6005	1,4251	1,2844
Амплитуда килевой качки, рад	0,018	0,032	0,08	0,13	0,212	0,240	0,351	0,453	0,550	0,650
Амплитуда вертикальных колебаний, м	0,008	0,01	0,036	0,1	0,15	0,199	0,315	0,395	0,474	0,569

Выполненные выше теоретические исследования не могут всесторонне охватить проблемы обеспечения надежности и энергетической эффективности транспортных АХП.

В частности, из-за сложности математического описания остались не до конца изученными вопросы влияния наклонов и качки на интенсивность процессов теплообмена.

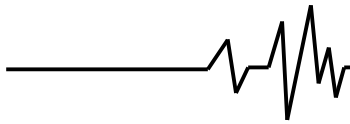
Моделирование гравитационных режимов течения жидкой фазы рабочего тела не учитывало динамику изменения положения в пространстве АХП.

Таким образом, для комплексного изучения особенностей работы АХП на малых морских судах необходимо провести их экспериментальные исследования в реальных условиях эксплуатации.

Испытания АХП «Киев 20-5» (производства Васильковского завода холодильников) в транспортных условиях были

проведены на борту спортивной крейсерской парусной яхты «Архимед» типа «Круизер» Одесского национального морского университета. Яхта совершала исследовательско-тренировочный поход по маршруту Одесса – Рыбаковка – Одесса в период с 29.07.2006 по 01.08.2006. Движение яхты по всему маршруту проходило с переменным креном на левый и правый борт до 20°. Качка килевая. Средняя скорость яхты составляла 4 морских узла [13].

Так как при испытаниях в морских условиях ставилась задача изучения влияния наклонов и качки, то в качестве источником тепловой нагрузки использовали неспециализированное горелочное устройство на сжиженном пропане. Для интенсификации процесса теплообмена в зоне генерации был установлен медный винтовой турбулизатор потока продуктов сгорания. Продукты сгорания отводились по вытяжному каналу и выбрасывались в атмосферу. Средний расход



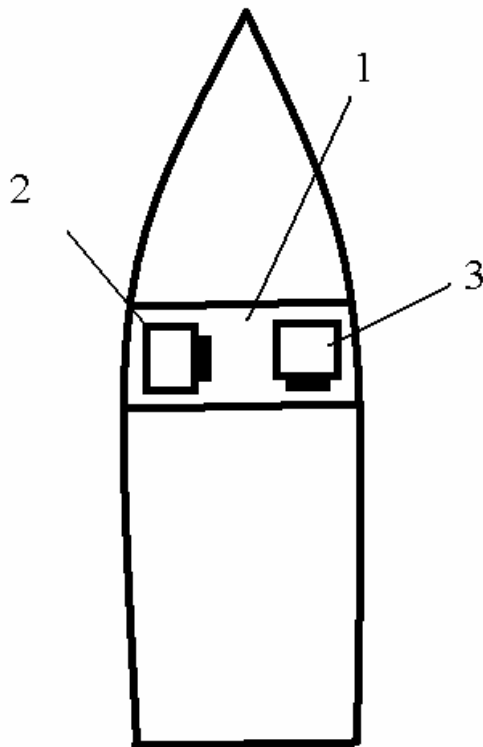
сжиженного пропана в испытаниях составил 12 г/ч (288 г/сутки).

Испытания АХП «Киев 20-5» проводились в характерных условиях эксплуатации малого морского судна (яхты «Архимед») – при килевой качке и крене судна с выходом АХП на рабочий режим из нерабочего состояния:

а) при продольном по отношению к диаметральной плоскости судна расположении элементов АХА с гравитационным течением рабочего тела;

б) при поперечном по отношению к диаметральной плоскости судна расположении элементов АХА с гравитационным течением рабочего тела.

Объект исследования устанавливался и закреплялся в камбузном отсеке (рис. 7).



**Рис. 7. Расположение объекта исследования на яхте: 1 – камбузный отсек; 2 – положение холодильника с продольной ориентацией конденсатора, испарителя и абсорбера по ходу яхты; 3 – положение холодильника с перпендикулярной ориентацией конденсатора, испарителя и абсорбера по ходу яхты по ходу яхты**

Для случая «а» АХП располагали таким образом, чтобы был обеспечен сток жидкого аммиака из конденсатора в испаритель и слабого ВАР из генератора в абсорбер при ходе с креном яхты на левый борт.

В стационарном режиме работы (на причале) уровень температур генератора составил 150...160 °С, абсорбера – около 30 °С (при температурах воздуха окружающей среды 18...20 °С).

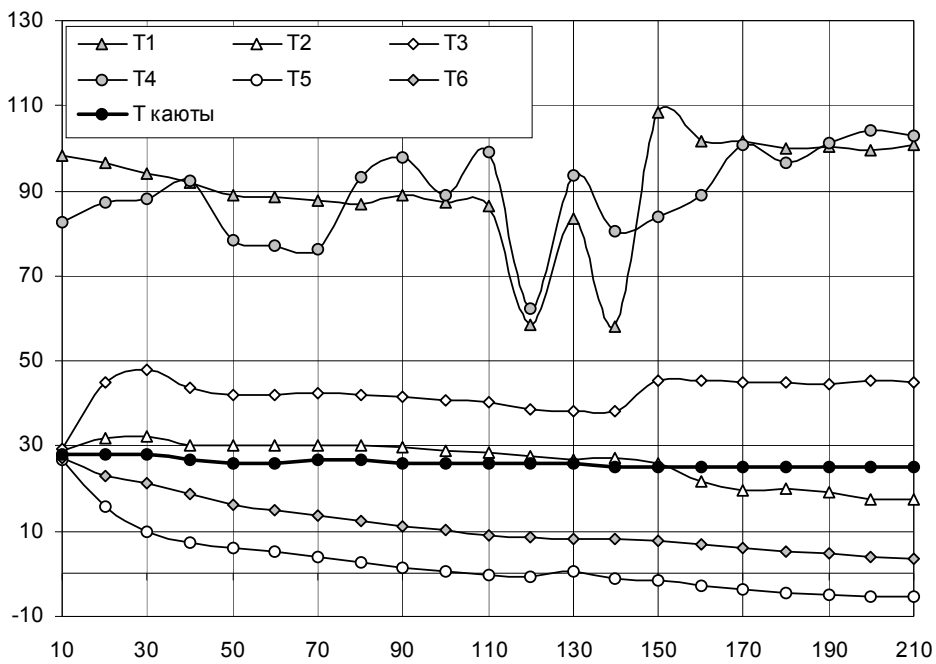
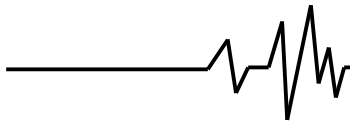
Результаты проведенных испытаний в морском походе в виде зависимостей изменения температур в характерных точках АХП во времени при различном расположении его на борту яхты представлены на рис. 8 и рис. 9.

Результаты первой серии испытаний (при продольном по отношению к диаметральной плоскости судна расположении элементов АХА с гравитационным течением рабочего тела) с выходом на режим показали удовлетворительную работоспособность АХП. Во всех случаях имела место тенденция снижения температуры, как на ребре испарителя, так и внутри холодильной камеры (рис. 8).

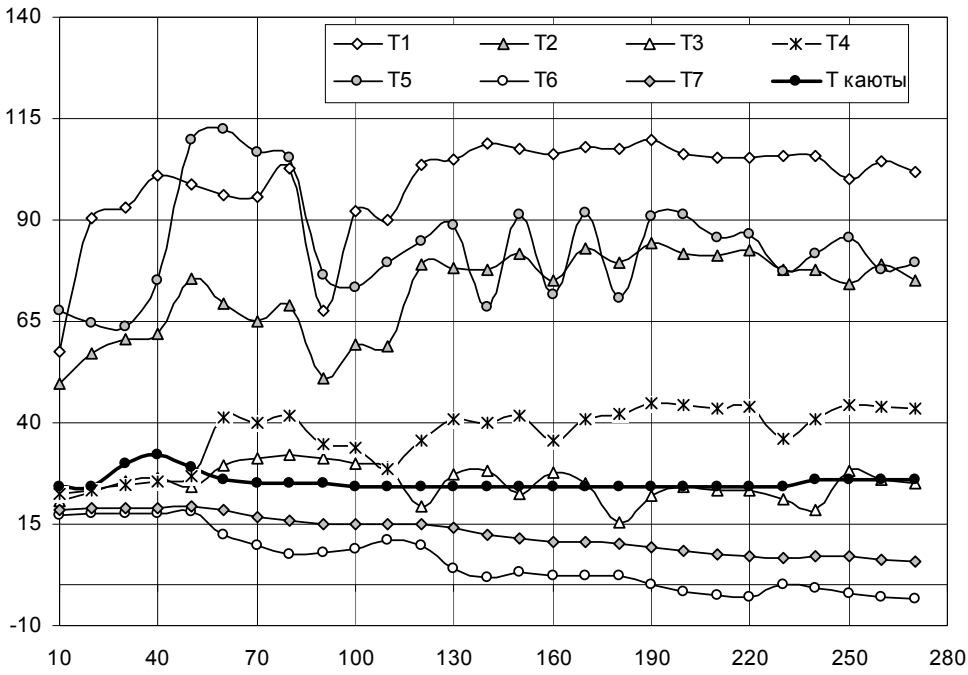
Анализ результатов первой серии испытаний также показал, что время выхода на номинальный режим холодильной камеры (температура не выше плюс 5 °С [14]) практически одинаково как для стационарного режима работы (на причале), так и для условий морского похода. Это говорит о том, что возможные неблагоприятные факторы, связанные с нарушением циркуляции жидкой фазы рабочего тела при знакопеременной килевой качке, компенсируются интенсификацией внутренних процессов теплообмена в испарителе и абсорбере АХА.

При такой ориентации обеспечивался сток аммиака из конденсатора в испаритель и подача слабого ВАР в абсорбер. Выход на режим с температурой в холодильной камере не выше 5 °С из нерабочего состояния достигался примерно за 3 часа.

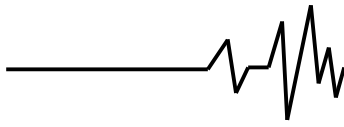
В первой серии морских испытаний получено значение холодопроизводительности испарителя АХА 12,8 Вт. Массовому расходу 12 г/ч и теплоте сгорания пропана соответствует тепловая нагрузка 158 Вт. Тепловой коэффициент АХА – 0,08.



**Рис. 8. Температура в характерных точках АХП «Киев-20-5» в пусковой период при продольном по отношению к диаметральной плоскости судна расположении элементов АХА с гравитационным течением рабочего тела.**  
Места расположения термодатчиков: 1 – выход дефлегматора; 2 – выход испарителя; 3 – низ абсорбера; 4 – выход продуктов сгорания из вытяжной трубы; 5 – ребро испарителя; 6 – температура в холодильной камере; 7 – температура воздуха в каюте



**Рис. 9. Температура в характерных точках АХП «Киев-20-5» в пусковой период при перпендикулярном по отношению к диаметральной плоскости судна расположении элементов АХА.**  
Места расположения термодатчиков: 1 – выход дефлегматора; 2 – вход в конденсатор; 3 – выход испарителя; 4 – низ абсорбера; 5 – выход продуктов сгорания из вытяжной трубы; 6 – ребро испарителя; 7 – температура в холодильной камере; 8 – температура воздуха в каюте



Низкая энергетическая эффективность АХП при испытаниях в условиях морского похода можно объяснить применением неспециализированного горелочного устройства.

Как показал анализ, значительные колебания температуры потока на входе в конденсатор связаны с аналогичными колебаниями температуры потока продуктов сгорания в шахте вытяжного канала, причем колебания последних определяются несовершенством конструкции турбулизатора потока.

Отмечено, что на вход конденсатора поступает поток с температурой значительно выше 50 °С, что указывает на содержание в потоке смеси аммиака и воды [15].

При расположении АХП перпендикулярно ходу судна (рис. 8) при крене как на левый, так и на правый борт наблюдались сбои в работе холодильника, а при крене в 20° (отклонении от вертикальной ориентации) работа холодильника полностью прекращалась.

Такой результат был ожидаем, исходя из пространственного расположения элементов АХА, однако необходимо было проверить возможности знакопеременной ориентации по перераспределению жидкой фазы в процессе качки.

Анализ пусковых режимов (рис.9) показал значительные колебания температур не только на выходе дефлегматора – входе конденсатора и в зоне продуктов сгорания, но и в испарителе и абсорбере.

Выход холодильной камеры на номинальный режим был достигнут за 4,5 часов.

Следует отметить, что даже и в благоприятном случае – продольном по отношению к диаметральной плоскости судна расположении элементов АХА, крен на противоположный правый борт до 10° вызывал нарушение подачи аммиака из конденсатора в испаритель. Для выхода из такой ситуации следует развернуть и переставить АХП к противоположной стенке камбуза. Очевидно, что в условиях реального морского похода постоянное перемещение холодильника осуществить невозможно и следует искать другие пути решения задачи.

Тем не менее, следует отметить и благоприятное влияние знакопеременной качки на работоспособность АХА при постоянном крене до 20°. В стационарных условиях работа холодильника была бы прекращена и при меньших отклонениях, но как показали экспериментальные исследования в морских условиях работоспособность АХП сохраняется.

Опыт экспериментальных исследований АХП на борту яхты «Архимед» позволил предложить конструкцию АХП, которая в минимальной степени подвержена неблагоприятным воздействиям кренам и бортовой качки.

В основе разработки стоит задача крепления корпуса АХП на борту парусной яхты таким образом, чтобы независимо от ориентации в пространстве яхты корпус оставался фиксированным в вертикальной плоскости.

Поставленная задача решается за счет того, что АХП дополнительно содержит платформу, на платформе установлена холодильная камера, выполненная в виде ларя, причем боковые стенки ларя ориентированы вдоль диаметральной оси корпуса парусной яхты, при этом платформа обеспечивает возможность свободного вращения холодильной камеры вокруг диаметральной оси корпуса парусной яхты [16].

Выбор конструкции типа «ларь» связан с ее отличием от конструкции типа «шкаф» тем, что при вращении в плоскости, перпендикулярной диаметральной плоскости судна, при одинаковых объемах камер используется меньший объем пространства. Фиксация АХП типа «ларь» в пространстве достигается непрерывным свободным вращением платформы относительно диаметральной оси парусной яхты при ее движении под парусом.

На рис. 10 приведен общий вид АХП типа «ларь» для парусных яхт:

а) вид спереди; б) вид сбоку.

На рис. 11 — схема ориентации АХП типа «ларь» при движении яхты под парусом.

АХП содержит холодильную камеру 1 типа ларь с верхней крышкой 2. На задней стенке камеры 1 установлен АХА 3. На боковых стенках камеры 1 жестко закреплены соосные камеры 4 между собой штыри 4. Штыри 4 установлены в пазах платформы 5 с возможностью свободного вращения. Платформа 5 и оси штырей 4 установлены вдоль диаметральной оси корпуса парусной яхты. Платформа 5 установлена таким образом, чтобы камера 1 имела возможность свободного вращения вокруг диаметральной оси корпуса парусной яхты. Холодильник с платформой 5 закреплен в корпусе парусной яхты 6, которая имеет мачту 7 с парусом 8.

Работа предлагаемого холодильника при движении парусной яхты осуществляется следующим образом.



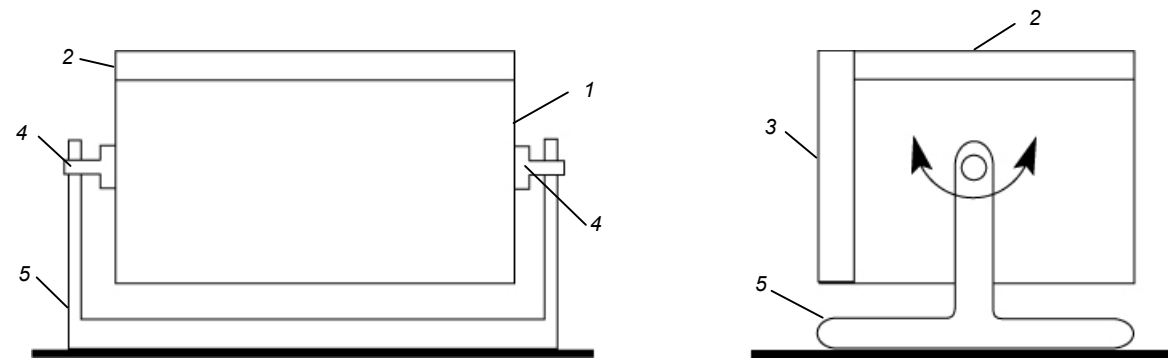
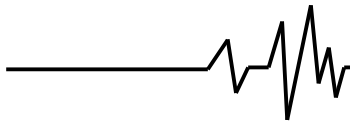


Рис. 10. Общий вид АХП типа "ларь" для парусных яхт

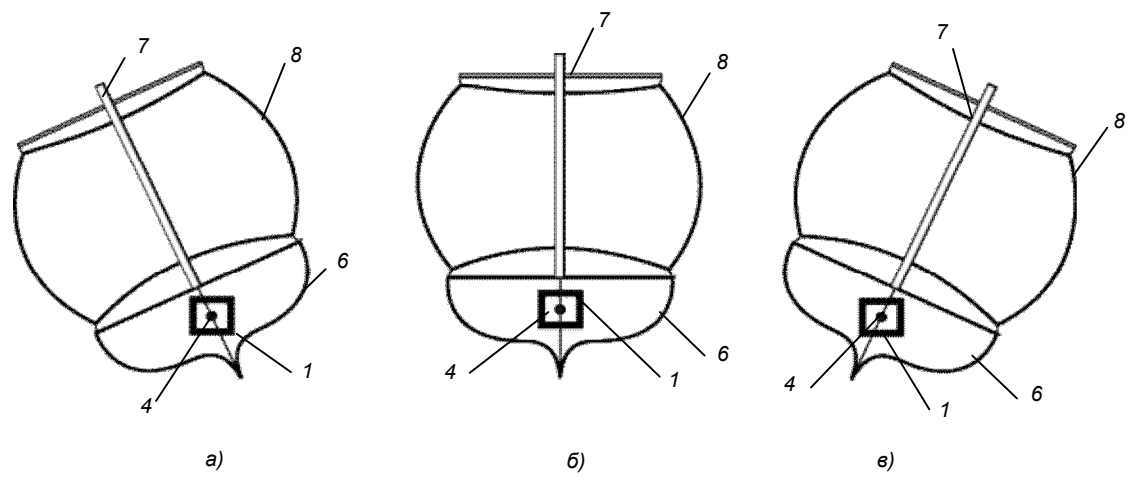


Рис. 11. АХП типа "ларь" для парусных яхт:  
а) наклон яхты влево; б) прямой ход яхты; в) наклон яхты вправо

При строгой вертикальной ориентации парусной яхты (рис. 11 б) холодильник также ориентирован в вертикальной плоскости. При отклонениях парусной яхты влево или вправо от вертикальной плоскости (рис. 11 а, в) камера 1 при помощи штырей 4 поворачивается относительно платформы 5 под действием собственного веса. Для стабилизации вращения центр тяжести камеры 5 смещен в ее нижнюю часть.

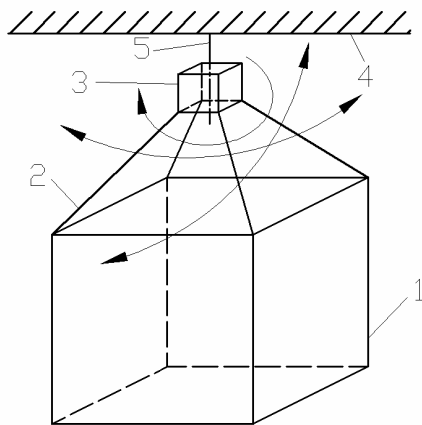
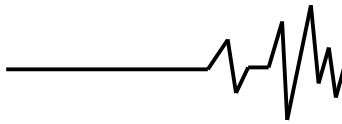
Таким образом, вне зависимости от наклонов и кренов парусной яхты АХП будет всегда ориентирован в одной плоскости (диаметральной оси корпуса) и при этом работоспособность его нарушаться не будет.

Отличительной особенностью предлагаемой конструкции является использование серийной продукции АХП, выпускаемой для эксплуатации в стационарных условиях.

Недостатком конструкции являются следующие:

а) при килевой качке не решаются задачи стабилизации гравитационного течения при отклонениях свыше  $5^\circ$ , хотя по нормам [12] должна быть обеспечена работоспособность электрических приборов до  $10^\circ$ ;

б) при загрузке холодильной камеры может быть нарушено горизонтальное равновесие и требуются специальные мероприятия для их размещения.



**Рис. 12. Оригінальна конструкція кріплення АХП: 1 – холодильна камера; 2 – жорсткі елементи; 3 – блоку стабілізації в просторстві; 4 – потолок судна; 5 – ось крюка**

Для устранения этих недостатков была разработана оригинальная конструкция крепления АХП, представленная на рис. 12.

Холодильная камера 1 крепится в верхних частях горизонтальных граней жесткими элементами (штырями, спицами) 2 к блоку стабилизации в пространстве (БСП) 3. БСП, в свою очередь, крепится к потолку 4 судна, например, при помощи крюка 5. БСП 3 обеспечивает стабильное расположение в пространстве холодильной камеры 1 при различных отклонениях яхты, как при бортовой качке и наклонах, так и при килевой качке. Дополнительно предусматривается возможность вращения холодильной камеры 1 вокруг оси крюка 5, что повышает эксплуатационные характеристики АХП.

При значительных отклонениях в режиме килевой и бортовой качки необходимо предусмотреть возможность перемещения холодильной камеры 1. Для минимизации дополнительного объема пространства каюты яхты следует использовать холодильную камеру 1 кубической или близкой к ней форме. Наличие жесткой связи 2 граней холодильной камеры 1 с БСП 3 дает возможность произвольно загружать продукты в полезный объем.

### **Выводы**

1. Условие  $\alpha = -\Psi = 5^\circ$ , при котором рабочие поверхности при пленочном течении хладагента в теплообменных элементах АХМ могут занимать горизонтальное положение

соответствует скорости ветра  $< 3$  м/с. При скоростях ветра, превышающих данное значение, использование, работа бытовых АХП в традиционном исполнении невозможна. При больших возмущениях ветровых волн на малых судах (катерах, яхтах) следует применять специальные АХП, в которых предусмотрены элементы, предотвращающие неблагоприятное воздействие качки на гидродинамику потоков рабочего тела.

2. Анализ результатов экспериментальных исследований показал, что время выхода на рабочий режим как стационарного, так и транспортного АХП практически одинаково. Это свидетельствует о том, что неблагоприятные факторы, связанные с образованием паровых пробок в зоне подвода тепла генераторного узла АХА компенсируются интенсификацией процессов теплообмена в испарителе и абсорбере.

3. Результаты экспериментальных исследований в условиях воздействия морской качки показали работоспособность АХП с расположением элементов АХА по ходу движения судна. При перпендикулярном расположении элементов АХА происходят сбои в течении жидкой фазы рабочего тела. В перспективных исследованиях и разработках целесообразно изменить конструкцию генераторного узла и перейти к схеме перекачивающего термосифона, а также предусмотреть элементы конструкции, позволяющие избежать неконтролируемый сток аммиака.

### **Литература**

1. Тітлов О.С. Науково-технічні основи створення енергозберігаючих побутових абсорбційних холодильних приладів [Текст] / О.С. Тітлов, М.Д. Захаров // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – 2009. – № 35. – Т.1. – С. 113–127.

2. Титлов А.С. Современный уровень разработок и производства бытовых абсорбционных холодильных приборов [Текст] / А.С. Титлов // Холодильный бизнес. – 2007. – № 8. – С. 12–17; № 9. – С. 28–30; № 10. – С. 47–49; № 11. – С. 46–47.

3. Терехов А.А. Ремонт холодильников абсорбционного типа [Текст] : монография // А.А. Терехов. – М.: Легкая индустрия, 1973. – 70 с.

4. Сводные данные товаров народного потребления: Часть 1. Холодильники и морозильники бытовые электрические, термостаты бытовые [Текст] – М.:



Министерство общего машиностроения СССР, 1990. – 102 с.

5. Бабакин Б.С. Бытовые холодильники и морозильники. (Справочник) [Текст] / Б.Бабакин, В. Выгодин. – 3-е изд., испр. и доп. – Рязань: Узоречье, 2005. – 860 с.

6. Деклараційний патент на корисну модель № 18462 Україна, МПК(2006) F 25 В 15/10. Холодильник для парусної яхти / О.С. Тітлов, Ю.О. Очеретяний, М.Д. Захаров, С.К. Чернишов (Україна). – № 200604524; заявл. 25.04.2006; опубл. 15.11.2006, Бюл. № 11.

7. Исаченко В.П. Теплопередача [Текст] / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергия, 1975. – 488 с.

8. Исаченко В.П. Теплообмен при конденсации [Текст] : монография / В.П. Исаченко. – М.: Энергия, 1977. – 240 с.

9. Семенов-Тянь-Шанский В.В. Качка корабля [Текст] / В.В. Семенов-Тянь-Шанский, С.Н. Благовещенский, А.Н. Холодилин. – Л.: Судостроение, 1969. – 392 с.

10. Благовещенский С.Н. Справочник по статике и динамике корабля. Динамика (качка) корабля [Текст] / С. Благовещенский, А. Холодилин. – Л.: Судостроение, 1976. – Том 2. – 176 с.

11. Справочник по управлению кораблем [Текст] / А.П. Броневицкий [и др.]; –

М.: Военное издательство министерства обороны СССР, 1974. – 140 с.

12. Правила классификации и постройки малых судов. [Текст] / В.В. Севрюков, В.В. Бабий, А.А. Билокурец. – Киев: Официальное издание регистра судоходства Украины, 2004. – Т. 1. – 70 с.

13. Очеретяний Ю.А. Результаты испытания абсорбционного холодильника в транспортных условиях [Текст] / Ю.А. Очеретяний, А.С. Титлов, Н.Д. Захаров // Холодильна техніка і технологія. – 2004. – № 4. – С. 19-24.

14. Прилади холодильні побутові. Експлуатаційні характеристики та методи випробувань [Текст]: ДСТУ 3023-95 (ГОСТ 30204-95, ISO 5155-83, ISO 7371-85, ISO 8187-91) – [Чинний від 1995-7-20] – К. : Держстандарт України, 1996. – 22 с. – (Національний стандарт України).

15. Богданов С. Н. Холодильная техника. Свойства веществ [Текст] / С. Н. Богданов, О. П. Иванов, А. В. Куприянова. – М. : Агропромиздат, 1985. – 208 с.

16. Деклараційний патент на корисну модель № 18462 Україна, МПК(2006) F 25 В 15/10. Холодильник для парусної яхти / О.С. Тітлов, Ю.О. Очеретяний, М.Д. Захаров, С.К. Чернишов (Україна). – № 200604524; заявл. 25.04.2006; опубл. 15.11.2006, Бюл. № 11.