

Оценка перспектив применения изобутана в бытовой холодильной технике с помощью эколого-термоэкономического метода

Канд. техн. наук, проф., акад. МАХ В.П.ЖЕЛЕЗНЫЙ, О.Я.ХЛИЕВА
Одесская государственная академия холода

Usefulness of isobutane in domestic refrigerating equipment was studied in the paper. A structure of contributions into the complete equivalent of global warming during production and operation of domestic refrigerating equipment has been considered. An ecological thermoeconomic coefficient for refrigerators where isobutane is used as a working body was calculated. It is shown that the conversion of domestic refrigerating equipment on fire-hazardous isobutane is not justified from ecological point of view.

К несомненным преимуществам R134a относится его пожаробезопасность, что дает возможность использовать эффективные методы удаления слоя инея с испарителя, увеличивать полезный объем камер. Это повышает конкурентоспособность бытовой холодильной техники на R134a.

Масса R134a, заправляемого в герметичный холодильный агрегат, мала (150...300 г) и не может даже с учетом количества выпускаемых во всех странах холодильников существенно влиять на величину прямого вклада в TEWI (Total Equivalent Warming Impact) от его эмиссии. Как показано в [11], даже 2–5%-ное увеличение энергетической эффективности может иметь большее значение для экологии, чем полное исключение утечек хладагента из системы.

Недостатки R134a – сравнительно низкая (по отношению к R12 и углеводородам) термодинамическая эффективность холодильного цикла и высокая гигроскопичность растворимых в R134a синтетических масел. Поэтому при производстве бытовых холодильников, использующих в качестве хладагента R134a, требуется более высокий уровень технологической дисциплины, чем при выпуске бытовой холодильной техники на R12.

Энергетическая эффективность углеводородных хладагентов несколько выше (на 4–10 %), чем R134a. Эмиссия их практически не влияет на увеличение парникового эффекта, и они растворимы в минеральных маслах. Однако углеводородные хладагенты пожароопасны! Поэтому применение их связано с необходимостью реконструкции технологических линий предприятий и внесения значительных изменений в конструкцию бытового холодильника (применение запененного испарителя, перенос компрессора на более высокий уровень, использование электро-

оборудования во взрывобезопасном исполнении). В Европейском стандарте Amendment 1 to IEC 60335-2-24, Ed. 4, разрешающем применение горючих рабочих веществ, оговорены жесткие требования к конструкции и испытаниям, которые обеспечивают безопасность эксплуатации бытовой холодильной техники. Соблюдение этих требований приведет к возрастанию цены на выпускаемое оборудование и снижению его конкурентоспособности. Но самое главное состоит в том, что эффективность холодильной машины на углеводородных хладагентах должна быть такой, чтобы компенсировать за время эксплуатации увеличение энергетических затрат на производство холодильника (по сравнению с бытовой холодильной техникой на R134a). В противном случае холодильная техника на углеводородных хладагентах не будет иметь никаких преимуществ в экологическом аспекте перед холодильниками на R134a [15]. К сожалению, эти вопросы еще не стали предметом серьезных научных исследований.

В настоящее время для широкого использования в бытовой холодильной технике предлагаются такие пожароопасные вещества, как R152a, RC270, R142b, R290, R600, R600a и т.д. В ряде случаев и многокомпонентные хладагенты, содержащие эти вещества, характеризуются достаточно высокой пожароопасностью, хотя и обеспечивают высокую энергетическую эффективность оборудования. В сложившейся ситуации принципиальным становится вопрос: насколько пожароопасность хладагента, с одной стороны, и высокая энергетическая эффективность оборудования – с другой, скажутся на стоимости производства и эксплуатации бытовой холодильной техники? Так, в [10] показано, что 5%-ное снижение стоимости эксплуатации холодильной системы (благодаря большей эффективности цик-

Из всех видов бытовой техники наиболее энергоемкой является холодильная. Примерно 20–30 % потребления электроэнергии населением приходится на бытовую холодильную технику. На рынке представлено большое число моделей холодильников, поэтому совершенно оправдан интерес, проявляемый во всем мире к их энергетической эффективности, дизайну и удобству эксплуатации. Рассматривая перспективы дальнейшего развития бытовой холодильной техники, необходимо уметь квалифицированно оценить основные направления ее совершенствования, особенно одно из них, связанное с применением новых экологически безопасных хладагентов.

В соответствии с Монреальским протоколом в бытовой холодильной технике вместо широко применяемого R12 стали использовать хладагенты R134a, R290, R600a (изобутан), различные бинарные и тройные смеси. И тем не менее любой перечень альтернативных хладагентов нельзя считать окончательным.

Во всем мире все еще продолжаются исследования, направленные на поиск «идеального» хладагента, характеризуемого экологической чистотой, термодинамической эффективностью и высокими технологическими характеристиками.

В технологической политике, напротив, наметился и расширяется раскол между США и Японией (применяющими в бытовой холодильной технике R134a) и странами Европейского союза, все шире использующими углеводороды. Каждое из этих технологических направлений имеет свои преимущества и недостатки.

С учетом вышесказанного авторами предлагаемой вниманию читателей статьи редакция открывает ее публикацией дискуссию по актуальной проблеме выбора экологически безопасных эффективных хладагентов. Приглашаем к обсуждению.

ла на R290) не компенсирует 30%-ного увеличения затрат на реализацию мер, обеспечивающих пожаробезопасность.

Сегодня уже становится очевидным, что традиционная оценка перспективности применения какого-либо типа холодильного оборудования по таким показателям, как холодопроизводительность, холодильный коэффициент и класс энергетической эффективности (Еuroean Standard EN153), является с позиций экологии неполной. Разработке новых эколого-энергетических показателей для аудита и менеджмента уделяется недостаточное внимание со стороны законодательных структур, отвечающих за политику, проводимую в области экологии и экономии энергетических ресурсов.

Как показывают проведенные в [15] исследования, энергетическая составляющая в себестоимости комплектующих деталей и узлов бытового холодильника настолько велика, что ее необходимо учитывать при расчете TEWI. Из этого следует, что реализация мер, обеспечивающих пожаровзрывобезопасность, является не только технологической проблемой, но и имеет экологический аспект, что связано с дополнительным энергетическим загрязнением окружающей среды и с воздействием на атмосферу радиационно активного диоксида углерода, оксидов серы, азота и других веществ, выделяющихся при производстве электроэнергии.

Совершенно очевидно, что за принятием в Киото решениями по ограничению выбросов парниковых газов в атмосферу наверняка последуют разработка и реализация национальных программ по экономии энергетических ресурсов и контролю за эмиссией радиационно активных газов [12].

В качестве характеристики, отражающей экологические свойства холодильной системы, можно принять совокупность энергетических затрат на ее разработку, производство и эксплуатацию (за все время использования). Полученные общие энергетические затраты можно легко перевести в экологический критерий TEWI_N по формуле

$$TEWI_N = GWP_R \cdot L \cdot N + GWP_R \cdot m(1-\alpha) + GWP_{в.а} \cdot M + \beta EN + \sum_{i=1}^n \beta E_i, \quad (1)$$

где GWP_R и $GWP_{в.а}$ — потенциалы глобального потепления хладагента и вспенивающего агента;

L — утечка хладагента, кг/год;

N — продолжительность эксплуатации оборудования, лет;

m — масса заправки хладагента в единицу продукции, кг;

α — доля утилизированного хладагента;

β — эмиссия CO_2 при производстве кВт·ч электроэнергии, кг CO_2 /(кВт·ч);

E — годовые затраты электроэнергии на

эксплуатацию оборудования, кВт·ч/год;

E_i — дополнительные энергетические затраты на производство конструктивных материалов, отдельных элементов холодильной системы и на техническое обслуживание холодильной установки.

Как показано в работе [4], с помощью TEWI_N можно оценить экологическую нагрузку по эквивалентной эмиссии диоксида углерода.

В рамках предложенной в работе [4] структуры вкладов в TEWI_N было сформировано несколько коэффициентов для исследования эколого-энергетической эффективности использования энергетических ресурсов в холодильном оборудовании.

Коэффициент приведенной эмиссии парниковых газов

$$tewi = \frac{TEWI_N}{TEWI_0}, \quad (2)$$

где TEWI₀ — эмиссия CO_2 при производстве энергии, преобразованной в холод.

Этот коэффициент характеризует экологическую чистоту процесса охлаждения (с позиций влияния на парниковый эффект). Значение $tewi$ всегда больше единицы. Чем меньше значение $tewi$, тем ниже уровень воздействия бытовой холодильной техники на природу при создании единицы эксергии холода.

Коэффициент прямого экологического действия

$$\delta = 1 - \frac{\Delta TEWI_{\Sigma}}{TEWI_N}, \quad (3)$$

где $\Delta TEWI_{\Sigma}$ — вклад в TEWI_N от эквивалентной эмиссии хладагента, вспенивающих агентов теплоизоляции, а также от дополнительной эмиссии CO_2 , обусловленной затратами энергии на получение конструкционных материалов и изготовление бытовой холодильной техники.

Этот коэффициент всегда меньше единицы. Он характеризует экологическое воздействие, обусловленное эквивалентной эмиссией парниковых газов на стадии создания бытовой холодильной техники и обеспечения ее безопасной эксплуатации.

Коэффициент косвенного экологического действия

$$\gamma = \frac{TEWI_{\Pi}}{TEWI_P}, \quad (4)$$

где TEWI_Π — эмиссия CO_2 при производстве энергии, затраченной на охлаждение продуктов (полезно затраченной части энергии);

TEWI_P — эмиссия CO_2 при производстве энергии, преобразованной в холод (рационально использованной энергии).

Этот коэффициент характеризует уровень внутренних и внешних потерь эксергии при эксплуатации бытовой холодильной техники. Значение его всегда меньше единицы. Увеличить коэффициент γ мож-

но путем уменьшения уровня теплопритоков в холодильник, рациональной организации холодильного цикла и оптимального подбора вспомогательного оборудования.

Коэффициент эколого-термоэкономического совершенства

$$\varphi = \frac{TEWI_{\Pi}}{TEWI_N} = 1 - \frac{\Delta TEWI_{\Sigma}}{TEWI_N}, \quad (5)$$

где $\Delta TEWI_{\Sigma}$ — вклад в TEWI_N, обусловленный энергией, нерационально использованной при производстве холода в бытовой холодильной технике.

В рамках изложенной в работе [4] методики расчета вкладов в TEWI_N исследовали влияние дополнительных энергетических затрат (связанных с повышением класса энергетической эффективности) на эколого-термоэкономические коэффициенты. Факторы, определяющие энергетическую эффективность бытовой холодильной техники, хорошо известны и подробно рассмотрены во многих публикациях [2, 5, 7, 14]. Как показали результаты исследований, совершенствование отдельных узлов холодильника позволяет снизить расход электроэнергии: на 20–30 % путем улучшения теплоизоляции; на 12–16 % повышением механического КПД компрессора; на 14 % уменьшением нагрева компрессора; на 8 % интенсификацией теплоотдачи в испарителе и конденсаторе и на 4–6 % оптимизацией регулирования. Вместе с тем улучшение показателей энергетической эффективности обычно связано с дополнительными затратами производителей на техническую модернизацию бытовой холодильной техники, что приводит к повышению их себестоимости.

Один из наиболее распространенных методов повышения энергетической эффективности бытовой холодильной техники — увеличение толщины изоляции с целью уменьшения теплопритоков. Действительно, в европейских бытовых холодильниках, относящихся к классам А и В по энергетической эффективности, толщина изоляции достигает 0,1 м в морозильной камере и 0,07 м в холодильной.

Динамику изменения эколого-термоэкономических коэффициентов исследовали на примере серийно выпускаемого в Украине обычного двухкамерного холодильника НОРД-233-6 (хладагент R134a), относящегося к классу G по энергетической эффективности. В качестве объекта для сравнения был выбран холодильник BOSH K.S.V.3123, который по объемам холодильной и морозильной камер, а также по температурным режимам в них близок к холодильнику НОРД-233-6. В холодильнике BOSH K.S.V.3123 хладагентом служит пожароопасный изобутан (R600a). По энергетической эффективности этот холодильник относится к классу А, что обусловлено применением в нем совре-

менных видов теплоизоляции, а также высоким уровнем технологического исполнения.

Составляющие вкладов в $TEWI_N$ для сравниваемых холодильников рассчитывали, исходя из предположения равенства их холодопроизводительности и одинаковой структуры себестоимости. При расчете теплопритоков в холодильную и морозильную камеры холодильника НОРД-233-6 коэффициент теплопроводности пенополиуретана принимали равным 0,019 Вт/(м·К).

В процессе выполнения эколого-термоэкономического анализа [4] эксергетические потери определяли при следующих параметрах холодильного цикла: температура хладагента на входе в компрессор 32 °С, температура конденсации 55 °С, температура кипения –23,3 °С, температура окружающего воздуха 20 °С. При вычислении $TEWI_N$ значение GWP для галоидопроизводных хладагентов принимали для 100-летнего интервала: $GWP_{R134a} = 1200$, $GWP_{R141b} = 630$. Эмиссию CO_2 при производстве 1 кВт·ч электроэнергии принимали равной $\beta = 0,7$ кг CO_2 /(кВт·ч). Время эксплуатации холодильника в соответствии с Европейским стандартом приняли равным семи годам. Коэффициент $TEWI_N$ рассчитывали без учета утилизации хладагента.

В работах, посвященных увеличению энергетической эффективности бытовой холодильной техники, высказывается широко распространенное мнение о значительном возрастании цены холодильника при увеличении толщины изоляции [2]. Однако более корректную информацию несет структура энергетических затрат, рассчитанная через энергетические эквиваленты [3].

Как видно из рис. 1, доля энергетичес-

ких затрат на производство пенополиуретана не превышает 30 % общих затрат энергии на производство холодильника и его компонентов даже при двукратном увеличении толщины изоляции. Вклад хладагента, холодильного масла и вспенивающего агента в сумме не превышает 1,4 %.

Как следует из формулы (1), рассуждения о целесообразности применения R600a из-за отсутствия его влияния на рост парникового эффекта для бытовой холодильной техники по, меньшей мере, некорректны. Из рис. 1 следует, что основные энергетические затраты (до 85 %) для бытовых холодильников связаны с производством конструкционных материалов: металла, полистирола и пенополиуретана.

Учитывая существенный вклад конструкционных материалов в баланс энергозатрат, связанных с созданием бытового холодильника, рассмотрим целесообразность увеличения толщины его изоляции.

В табл. 1 и на рис. 2 приведены результаты расчета основных эколого-термоэкономических показателей и коэффициентов при увеличении толщины изоляции холодильника НОРД-233-6.

Как следует из приведенных расчетов эколого-термоэкономические коэффициенты γ и ϕ при увеличении толщины изоляции возрастают, что отражает рост экологической чистоты процесса хранения продуктов. Однако увеличение значений γ и ϕ не носит пропорционального характера. Темп возрастания эколого-энергетической эффективности по мере роста толщины изоляции неуклонно снижается. Более того, обращают на себя внимание возрастание коэффициента приведенной эмиссии $tewi$ и снижение коэффициента прямого экологического действия δ .

Все эколого-термоэкономические коэффициенты тесно связаны между собой в рамках единой структуры $TEWI_N$ [4]. По

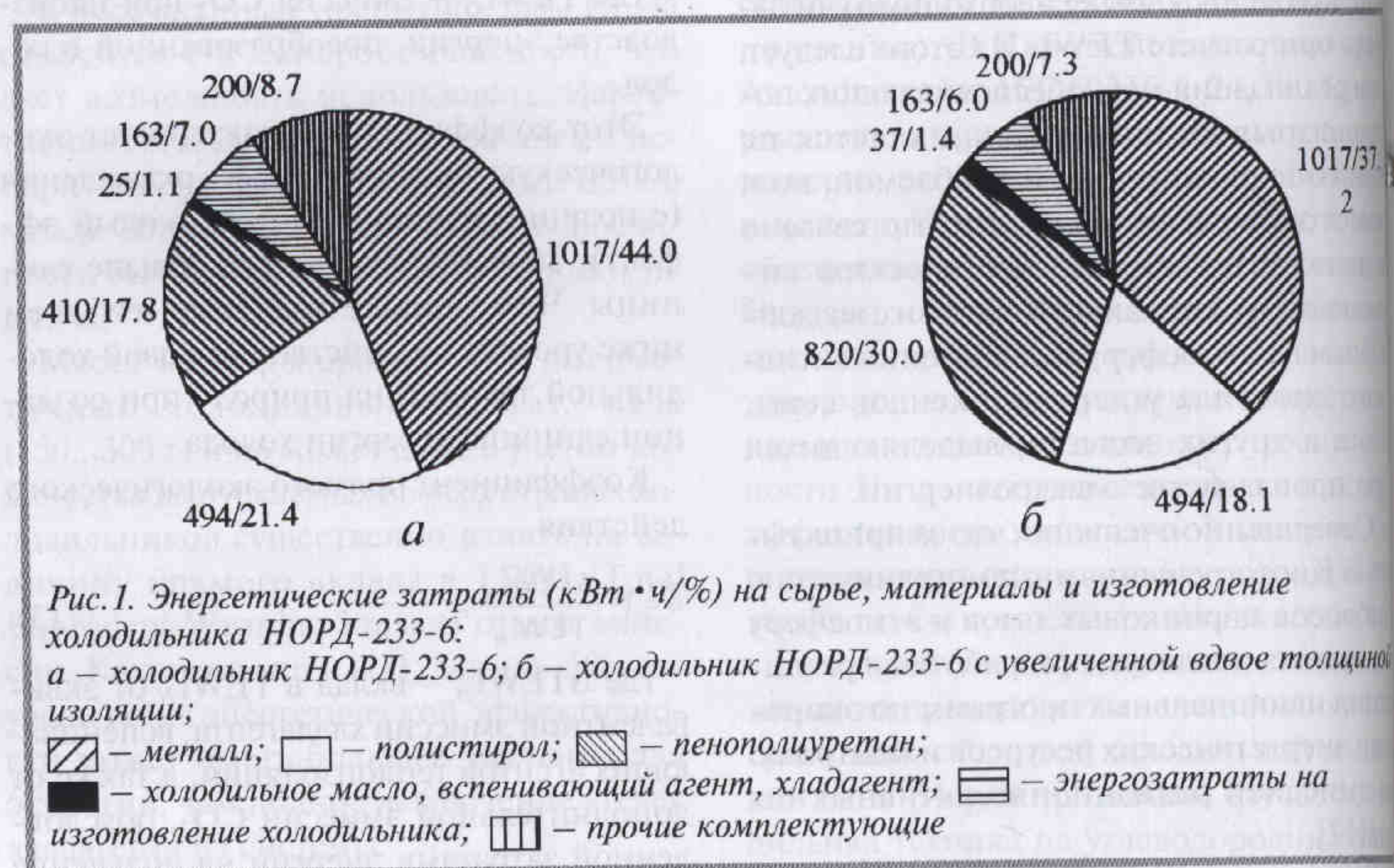


Таблица 1
Значения эколого-термоэкономических величин и коэффициентов при увеличении толщины изоляции холодильника НОРД-233-6

Показатель	Толщина изоляции холодильной/морозильной камер, м								
	0,035/0,05	0,042/0,06	0,049/0,07	0,056/0,08	0,063/0,09	0,07/0,1	0,077/0,11	0,084/0,12	0,091/0,13
Теплопритоки, кВт·ч/сут	0,93	0,78	0,67	0,59	0,52	0,47	0,43	0,39	0,36
Энергопотребление, кВт·ч/сут	2,27	2,12	2,01	1,93	1,86	1,81	1,77	1,73	1,70
Класс энергетической эффективности	G	F	F	F	E	E	E	D	D
Энергозатраты на создание конструкционных материалов и комплектующих, кВт·ч	2307,7	2392,1	2476,5	2560,9	2645,2	2729,6	2813,9	2898,3	2982,6
Прямой вклад в $TEWI_N$ хладагента ($TEWI_{хл}$), кг CO_2	216	216	216	216	216	216	216	216	216
Прямой вклад в $TEWI_N$ вспенивающего агента ($TEWI_{вп}$), кг CO_2	334	401	468	534	601	668	735	802	868
Косвенный вклад в $TEWI_N$ от создания оборудования ($TEWI_{об}$), кг CO_2	1615	1674	1734	1793	1852	1911	1970	2029	2088
Косвенный вклад в $TEWI_N$ от энергопотребления при эксплуатации ($TEWI_{п}$), кг CO_2	4065	3789	3592	3443	3328	3235	3159	3096	3042
$TEWI_N$	6230	6080	6009	5986	5997	6030	6080	6142	6215
$tewi$	2,478	2,591	2,701	2,807	2,910	3,010	3,107	3,203	3,298
δ	0,652	0,623	0,598	0,575	0,555	0,537	0,520	0,504	0,490
γ	0,208	0,252	0,287	0,315	0,339	0,360	0,378	0,393	0,407
ϕ	0,136	0,157	0,171	0,181	0,188	0,193	0,196	0,198	0,199

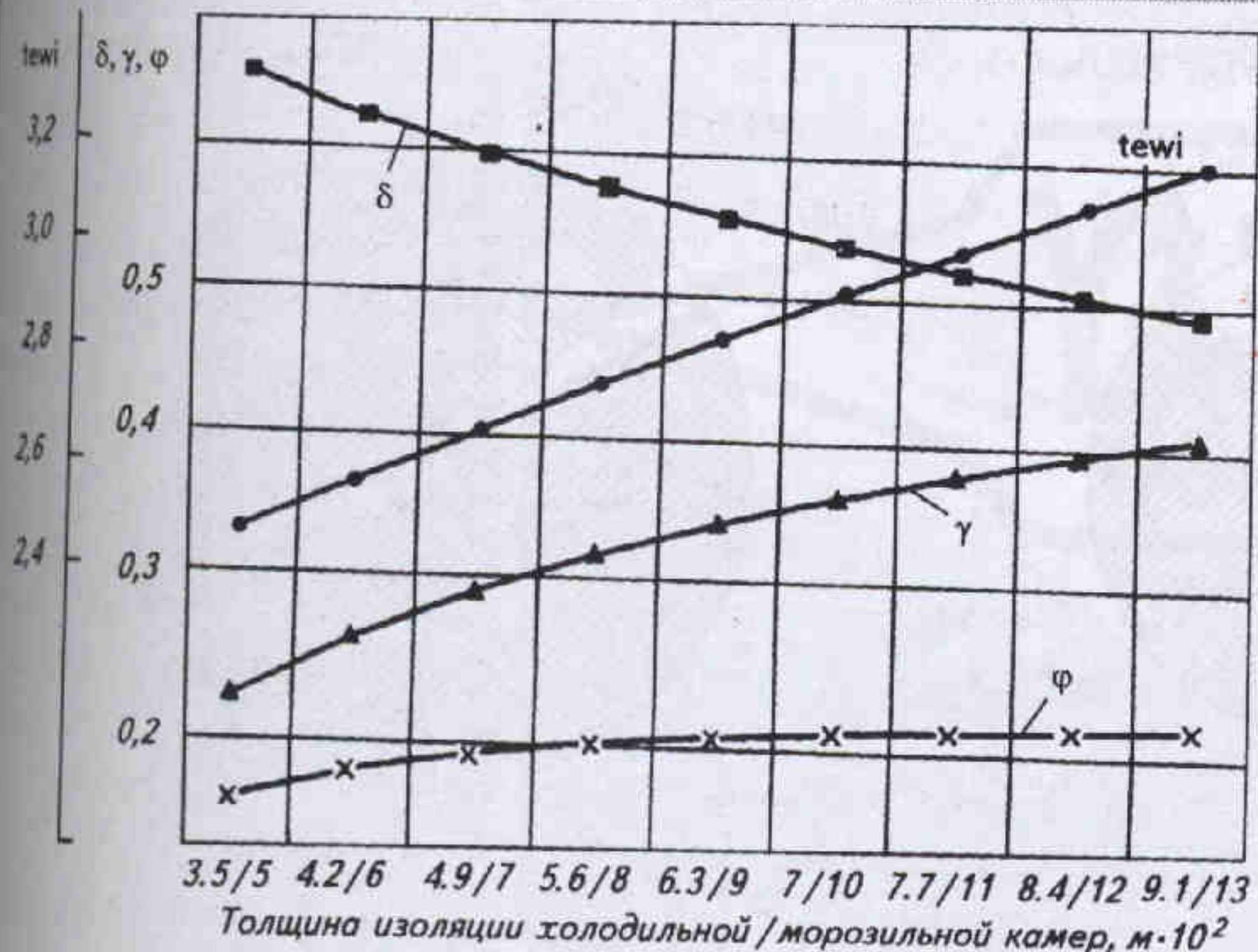


Рис. 2. Зависимость эколого-термоэкономических коэффициентов от толщины изоляции холодильника при его эксплуатации в течение 7 лет

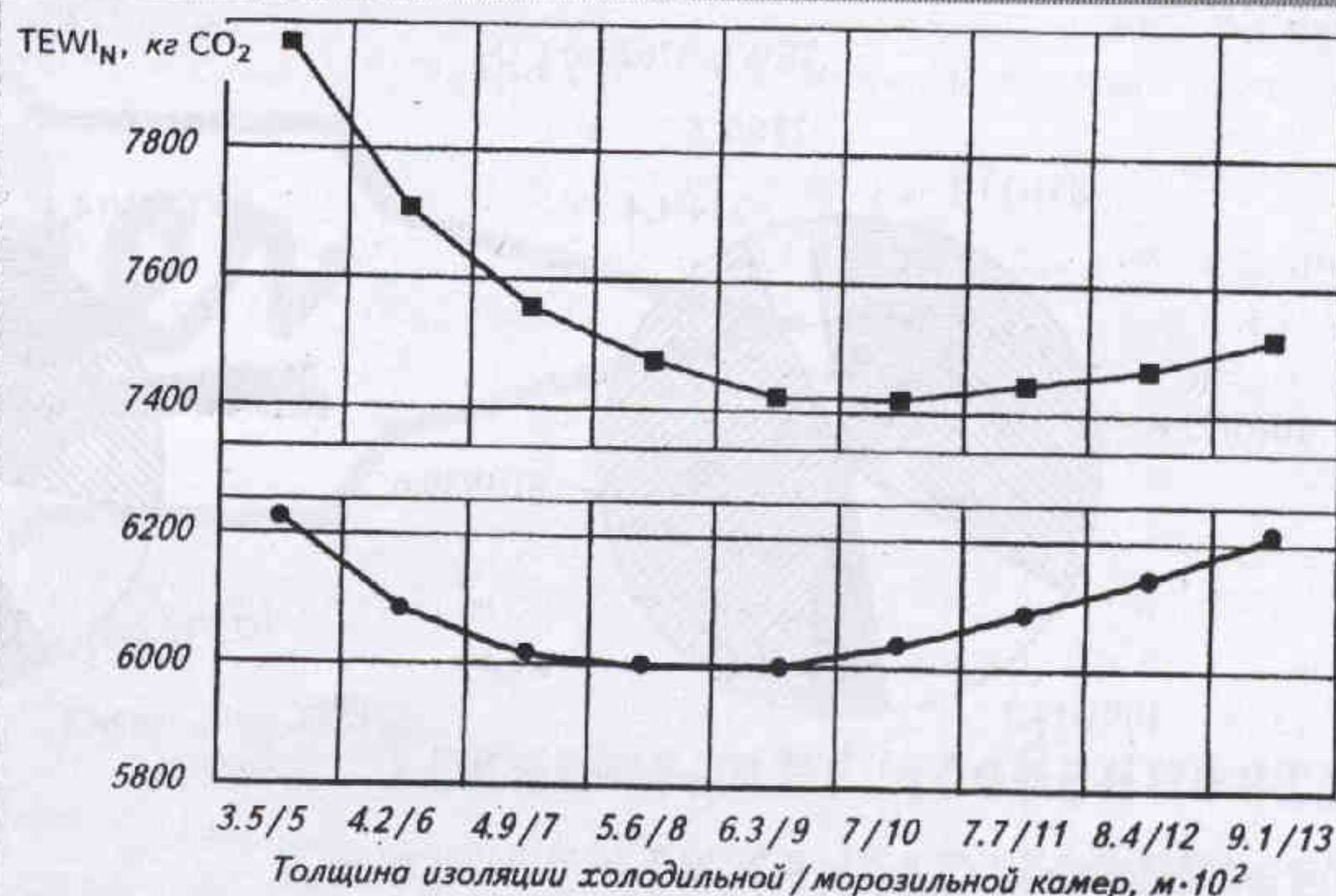


Рис. 3. Зависимость $TEWI_N$ от толщины изоляции холодильника при его эксплуатации в течение 7 и 10 лет
● — время эксплуатации 7 лет; ■ — время эксплуатации 10 лет

тому чем толще изоляции, тем меньше теплопритоки внутрь холодильника и потребление энергии ($TEWI_p$). Следовательно, имеется тенденция к снижению $TEWI_N$. Вместе с тем с увеличением толщины изоляции возрастают затраты энергии на производство изоляционного материала, что приводит к повышению $TEWI_{\Delta}$ и в целом $TEWI_N$. Таким образом, с позиции эколого-термоэкономического анализа при определенной толщине изоляции дальнейшее ее увеличение становится нецелесообразным (рис. 3). Значительно больший эффект может иметь переход к применению заливочной изоляции с использованием изопентана, у которой коэффициент теплопроводности на 20–30 % ниже, чем у обычного пенополиуретана. Кроме того, уменьшение толщины стенок холодильника, где использована такая изоляция, позволит увеличить на 10 % его полезный объем [2]. На сегодняшний день наиболее кардинальным методом уменьшения теплопритоков является использование дорогой, но очень эффективной изоляции, так называемой суперизоляции.

Высокое значение коэффициента косвенного экологического действия у холодильника BOSH K.S.V.3123 (табл. 2) отражает как эффективность применяемой изоляции, так и качество практической организации холодильного цикла на изобутане. Причем вклад в эффективность, обусловленный более высоким термодинамическим совершенством R600a по сравнению с R134a, сравнительно невелик — примерно 7 %. Гораздо большее значение имеют преимущества по техническим характеристикам (механический КПД компрессора, КПД электродвигателя, коэффициент подачи и т. д.) компрессоров на изобутане перед отечественными аналогами на R134a. Более низкий уровень температур конденсации, наличие системы автоматического оттаивания морозильной камеры также способствуют достижению

высокого класса энергетической эффективности у холодильников, работающих на изобутане. Именно совокупность этих факторов, а не только термодинамическое совершенство изобутана определяют высокий класс энергетической эффективности холодильника BOSH K.S.V.3123.

Следует обратить внимание на зависимость оптимальной толщины изоляции от планируемого срока работы холодильника. При планируемом увеличении срока службы холодильника следует предусматривать большую толщину его изоляции. Это необходимо учитывать при разработке экспортной политики продажи бытовой холодильной техники в страны с низким уровнем потребления энергоресурсов на душу населения.

Анализируя приведенные в табл. 1 результаты расчета эколого-термоэкономических коэффициентов, можно прийти к заключению о том, что применение изоляции оптимальной толщины не позволяет значительно повысить класс энергетической эффек-

тивности холодильника НОРД. В то же время эколого-термоэкономические коэффициенты существенно изменяют свою величину: $tewi$ — на 14 %, δ — на 14,1 %, γ — на 33,3 %, ϕ — на 22,2 %, что отражает их более высокую (по сравнению с классом энергетической эффективности) чувствительность к изменениям конструктивных и эксплуатационных факторов, характеризующих бытовую холодильную технику. Кроме того, эколого-термоэкономические коэффициенты позволяют оценить уровень антропогенного воздействия бытовой холодильной техники на окружающую среду (с позиций эмиссии парниковых газов). Напротив, действующий международный стандарт EN153 никакой экологической нагрузки не несет. Класс энергетической эффективности бытовой холодильной техники является по сути формальным коэффициентом, отражающим уровень потребления энергии на единицу полезного объема холодильника, расчет которого по предлагаемой стандартом формуле нельзя считать безупречным.

Таблица 2
Сравнение технологических, экономических и эколого-термоэкономических показателей холодильников НОРД 233-6 и BOSH K.S.V. 3123

Показатель	НОРД-233-6		BOSH K.S.V. 3123
	с обычной толщиной изоляции	с увеличенной в 1,6 раза толщиной изоляции	
Объем, л	350	350	350
Полезный объем, л	424,75	424,75	424,75
Температура в камере, °C:			
холодильной	4	4	4
морозильной	-18	-18	-18
Хладагент	R134a	R134a	R600a
Вспенивающий агент	R141b	R141b	Изопентан
Коэффициент рабочего времени	0,630	0,534	0,330
Потребляемая энергия N_p , кВт·ч/сут	2,27	1,93	1,19
Класс энергетической эффективности	G	F	A
Цена, долл. США	213,9	237,5	720
$tewi$	3,035	3,528	7,264
δ	0,532	0,457	0,173
γ	0,210	0,315	0,400
ϕ	0,112	0,144	0,069

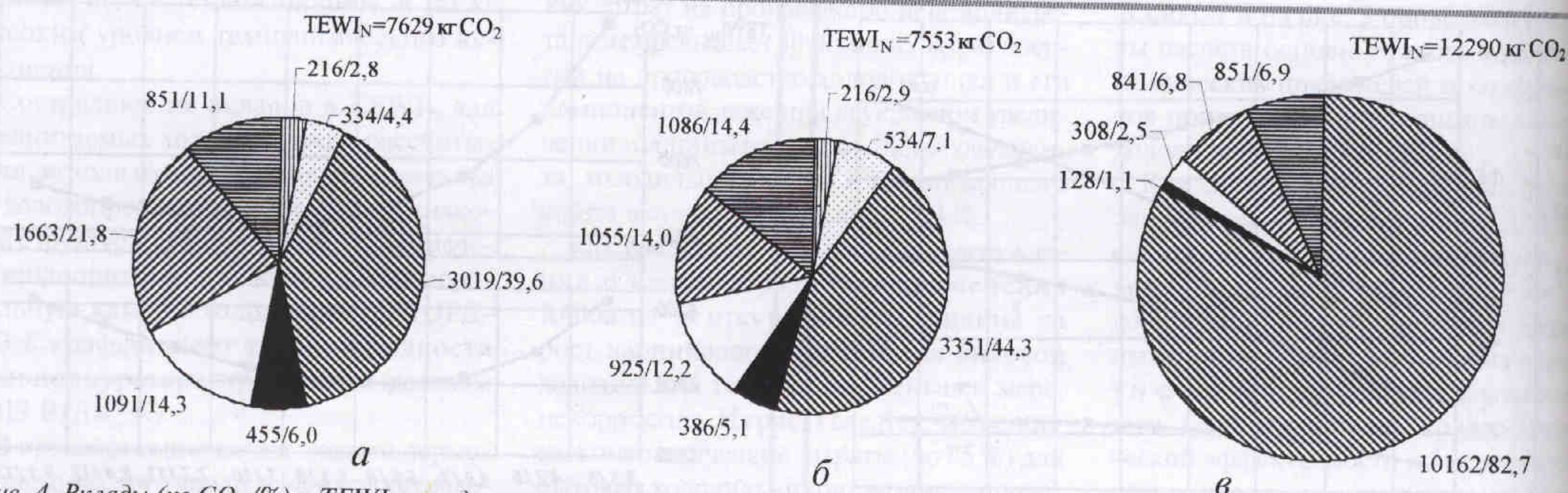


Рис. 4. Вклады (кг $\text{CO}_2/\%$) в TEWI_N холодильников:

а – НОРД-233-6; б – НОРД-233-6 с увеличенной в 1,6 раза толщиной изоляции; в – BOSH K.S.V. 3123;

▨ – прямой вклад от эмиссии хладагента; ▤ – прямой вклад от эмиссии вспенивающего агента; ▩ – косвенный вклад от затрат энергии на изготовление материалов и производство холодильника, кг $\text{CO}_2/\%$; ■ – косвенный вклад от внутренней необратимости процессов в холодильном оборудовании; □ – косвенный вклад от внешней необратимости процессов в холодильном оборудовании; ▧ – эмиссия CO_2 от нерационально использованной энергии (теплопритоки и охлаждение внутрикамерного оборудования); ▦ – эмиссия CO_2 от энергии, затраченной на охлаждение продуктов

Приведенные в табл. 2 результаты сравнения технологических, экономических и эколого-термоэкономических показателей холодильников НОРД-233-6 и BOSH K.S.V.3123 подтверждают справедливость сделанных выводов. Даже с учетом некоторой условности такого сравнения (различный дизайн, уровень удобства эксплуатации, неодинаковые структуры ценообразования) полученные результаты вызывают интерес. Так, холодильник BOSH K.S.V.3123, характеризующийся высоким классом энергетической эффективности, по уровню антропогенного воздействия (см. коэффициенты tew_i , ϕ и TEWI_N) почти вдвое уступает серийно выпускаемому холодильнику НОРД-233-6! Как показывают расчеты, только при эксплуатации в течение 24 лет коэффициент эколого-термоэкономического совершенства у рассматриваемых холодильников примет одинаковые значения.

Вместе с тем перевод бытовой холодильной техники на углеводороды до сих пор аргументируется необходимостью сокращения эмиссии парниковых газов и повышением энергетической эффективности применяемых хладагентов. Именно отсутствие научно обоснованных методов эколого-энергетического анализа, системы индикаторов для экологического аудита объясняет сложившуюся ситуацию с выбором хладагентов для бытовой холодильной техники.

На рис. 4 представлены диаграммы, из которых следует, что суммарный вклад в TEWI_N от эмиссии галоидопроизводных углеводородов (R134a и R141b) весьма незначителен. Напротив, энергетические затраты на создание конструктивных материалов и в целом холодильника велики.

Выполненный анализ свидетельствует о том, что сокращение эмиссии парниковых газов должно достигаться не только

путем запрета на использование хладагентов с высоким значением GWP, но и (в значительно большей мере) снижением общих энергетических затрат на создание бытовой холодильной техники. Этот вывод справедлив только для герметичных холодильных систем малой производительности. Для холодильного оборудования большой производительности и с высоким уровнем эмиссии парниковых газов структура TEWI_N будет принципиально иной и соответственно будут другими и рекомендации по снижению общего эквивалента глобального потепления [8, 9].

Как следует из приведенных на рис. 4 диаграмм, вторым по значимости фактором, определяющим величину TEWI_N бытового холодильника, является энергетическая эффективность компрессора.

Учитывая низкий уровень коэффициента подачи компрессоров в бытовых холодильниках, основные мероприятия по повышению их эффективности должны быть направлены на повышение качества изготовления сопрягаемых элементов (поршень, цилиндр, клапаны и т. д.), оптимальный выбор холодильного масла и повышение КПД электродвигателя [13]. Известны и другие мероприятия [2, 5, 7, 14], которые способны значительно снизить суточное потребление энергии холодильником. Однако для их реализации потребуется существенно увеличить энергетические затраты на создание бытового холодильника, что может привести к ухудшению его эколого-энергетических характеристик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев И.А., Лукин А.И. Применение озонобезопасных смесевых хладагентов в бытовых холодильных приборах // Холодильная техника. 1997. № 3.
2. Бабакин Б.С., Выгодин В.А. Бытовые холодильники и морозильники. – М.: Колос, 1998.
3. Гнидой М.В., Куц Г.О., Терещук Д.А. Метод розрахунку повних енергетичних витрат на ви-

робництво продукції // Екотехнологія і ресурсосбереження. 1997.

4. Железный В.П. Принципы эколого-термоэкономического анализа эффективности холодильного оборудования при переходе на новые озонобезопасные хладагенты // Вестник международной академии холода. 2000. № 1.

5. Калинин И.М., Смыслов В.И. Пути решения проблемы перевода бытовой холодильной техники на озонобезопасные хладагенты // Холодильная техника. 1995. № 1.

6. Калинин И.М., Фадеев К.Н. Эффективность применения зеотропных смесевых хладагентов в бытовых холодильниках // Холодильная техника. 1999. № 8.

7. Камовников Б.П., Каухчевили Э.И., Шелашова С.Л. Снижение энергопотребления бытовой холодильной техники // Холодильная техника. 1983. № 11.

8. Лавренченко Г.К., Волобуев И.В., Копытин А.А. Анализ энергоэкологических характеристик агрегированных холодильных машин // Холодильная техника и технология. 2000. Вып. 69.

9. Эколого-термоэкономический анализ перспектив применения аммиака в холодильном оборудовании/В.П.Железный, П.В.Железный, О.В.Лысенко, В.С.Овчаренко// Холодильная техника. 2000. № 3.

10. Douglas I.D., Braun J.E., Groll E.A., Tree D.A. Trade-off Between Flammability and Performance of Hydrocarbon // Proc.19th International Cong. of Refrig.- Hague (Netherlands). 1995.

11. Fisher S.K., Fairchild P.P., Hughes P.S. Global warming implications of replacing CFC // ASHRAE J. – April, 1992.

12. Green I. The Energy Alternatives for Sustainable Europe (EASE) Project // Stepping Towards Sustainability in Energy: Practical proposals for Europe/ Nain report. – Edinburgh (Scotland): Friends of the Earth Scotland. 1997.

13. Krasnovsky I.N., Muravia E.S., Onistchenko V.P. Elaboration of Compressor Working on R134a // Prot. 1996 International Compressor Engineering Conference at Purdue. – Purdue (USA): Purdue Univ., 1996.

14. Radermacher R., Kim K. Domestic Refrigerators: recent developments // International J. Refrig. 1996. V.19. № 1.

15. Zhelezny V.P., Zhidkov V.V. Ecological Safety of Natural Refrigerants in Domestic Refrigerating Equipment: Illusions and Reality // Proc. 1998 Int. Refrig. Conf. At Purdue. – Purdue (USA): Purdue Univ., 1998.