

## НА СТЫКАХ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

Д.т.н., проф. Эткин В.А.

Рассматриваются разнообразные явления, лежащие в пограничных областях механики жидкостей и газов, термодинамики, теории теплообмена, гидродинамики, электродинамики, химии и биологии, и приводятся примеры их практического использования. Излагаются различные подходы к описанию и исследованию явлений на стыках естественных наук, в том числе разработанный автором термокинетический метод. Обосновывается целесообразность синтеза фундаментальных научных дисциплин в единый макрофизический метод исследования кинетики процессов переноса и преобразования любых форм энергии - энергодинамику.

**Введение.** Развитие физики за последние десятилетия показало, что окружающий нас мир гораздо сложнее, чем это казалось ранее, и что наши представления о нем нуждаются в непрерывном расширении и исправлении. В настоящее время ученый, исследующий закономерности разнообразных изменений состояния вещества, не может целиком полагаться на знание законов, описывающих лишь одну из возможных форм движения материи. Термические, химические, механические, электрические, магнитные и т.п. свойства вещества взаимосвязаны, и пренебрегать некоторыми из них можно лишь в исключительных случаях. Однако сегодня макроскопическая физика, ограниченная рамками механики, электродинамики и термодинамики, едва ли в состоянии справиться с проблемами, возникающими в различных областях быстро развивающейся техники. Наибольшие трудности вызывает исследование и количественное описание явлений на стыках этих фундаментальных дисциплин, с которыми связаны наиболее значимые научные достижения последнего столетия. Последующее изложение имеет целью охарактеризовать хотя бы кратко те из них, которые связаны с нестатическим характером (конечной скоростью) реальных процессов и находят все более широкое применение в различных технологиях.

### **Явления на стыках естественных наук.**

В течение XIX–XX столетий было открыто множество явлений, возникающих при одновременном протекании в одних и тех же областях пространства казалось бы, хорошо изученных физико – химических процессов. Эти «побочные» явления часто трактуют как «эффекты наложения» необратимых (нестатических)

процессов переноса тепла, вещества, заряда, импульса и т.п. За возникновением таких эффектов удобнее проследить на примере системы, содержащей некоторое вещество и разделенной на две части (подсистемы) капилляром, вентилем, пористой перегородкой или проницаемой мембраной [4]. Если все физико-химические свойства подсистем одинаковы, система в целом находится в равновесии, характеризующемся отсутствием потоков тепла, вещества, заряда и т.п. между ними. Представим теперь, что между подсистемами, разделенными пористой перегородкой, имеется некоторая разность давлений. В таком случае между подсистемами возникает объемный поток вещества. В жидкостях при наличии пористой перегородки этот процесс получил название фильтрации (капиллярного течения). Согласно экспериментальным данным, объемный поток вещества пропорционален перепаду давлений, а в непрерывных средах – градиенту давления [1]. Такая простая пропорциональная зависимость носит название закона Дарси. При наличии в рассматриваемой системе свободных зарядов (электронов или ионов) наблюдается другое явление – возникновение электрического тока вследствие разности электрических потенциалов [2]. При этом электрический ток пропорционален перепаду или градиенту электрического потенциала (закон Ома, 1855). Коэффициенты пропорциональности в этих уравнениях носят название соответственно коэффициентов фильтрации и электропроводности.

Положение усложняется, если в такой системе одновременно отличны от нуля перепады как давления, так и электрического потенциала. Тогда явления электропроводности и фильтрации «накладываются» друг на друга, и возникают побочный эффект – перенос вещества под действием перепада электрического потенциала (*эффект Реуса*). Этот эффект был обнаружен еще в 1809 г., когда Реус наблюдал перенос воды через пористую глиняную стенку сосудов [2,3]. В настоящее время это явление называют *электроосмосом*. Оно нашло широкое применение в технике. Достаточно упомянуть о струйных принтерах, в которых чернила выдавливаются на бумагу только в тех точках сопла катриджа, на которые в данный момент подается электрический потенциал, причем количество подаваемых чернил пропорционально этому потенциалу.

Другим эффектом, сопровождающим наложение указанных процессов, является перенос электрического заряда под действием перепада давления

(«потокопроводность»). При этом электрический ток пропорционален перепаду давления.

Известны также явления, обратные электроосмосу или потокопроводности, в частности, возникновение разности потенциалов при фильтрации жидкости, несущей свободный заряд (эффект Квинке, 1859). Этот эффект наблюдается и в однокомпонентных системах, например в ртути, и проявляется в появлении разности потенциалов при ее продавливании через систему стеклянных капилляров (А. Клемм, 1958).

Еще более осложняется ситуация, когда мембрана проницаема для одного из компонентов и непроницаема для других веществ. Тогда в системе возникает процесс выравнивания концентраций этого вещества и к установлению так называемого химического (точнее, материального) равновесия. В случае непрерывной среды (в отсутствие перегородки) этот процесс называется диффузией. При этом вблизи равновесия поток независимого компонента пропорционален градиенту его концентрации (*закон Фика*, 1855).

Если диффузия накладывается на процесс электропроводности, возникают «побочные» эффекты. Одним из них является электрофорез - переноса коллоидных частиц под действием приложенного напряжения. Электрофорез широко применяется, например, в медицинской практике для ускорения доставки лекарственных веществ вглубь тканей человеческого организма (эта процедура так и называется - электрофорез). В электролитах, несущих свободные электроны или ионы нормальной величины описываемое явление называется электролизом. Электролиз нашел самое широкое применение в металлургии (например, при выплавке алюминия, при обогащении руд и т.д. Он широко применяется в гальванотехнике для нанесения защитных и декоративных покрытий (гальваностегия).

Другим побочным явлением является бародиффузия – перенос вещества под действием градиента давления. В растворах при наличии мембраны явление выравнивания концентрации вещества именуют обычно осмосом, а обратный процесс отделения растворителя от растворенного вещества – обратным осмосом. При этом в большинстве случаев поток растворителя пропорционален перепаду давлений на мембране.

Осмоз и электроосмос играют решающую роль в обеспечении жизнедеятельности биосистем, в том числе живых организмов. Именно они лежат в основе процессов метаболизма – обмена веществ между ними и окружающей средой.

Еще более сложным является случай, когда в системе отсутствует тепловое равновесие, т.е. имеются перепады температуры. Тогда на упомянутые процессы накладывается процесс теплопроводности (переноса тепла под действием градиента или перепада температур), описываемый законом Фурье (1822). Согласно ему, поток тепла пропорционален градиенту температуры.

Наличие перепада температур вызывает целый ряд побочных эффектов. Одними из них является *термодиффузия* – относительное перемещение  $k$ -х веществ в смеси под действием градиента температуры. Термодиффузия нашла практическое применение в технологии обогащения урановых руд (для извлечения из них урана-235) при изготовлении атомного оружия (при этом технологическая цепочка насчитывала до 2-х тысяч последовательно включенных ячеек, так что заводы по обогащению ядерного топлива выглядели монстрами). К этой же группе явлений относится термоосмос, отличающийся лишь наличием полупроницаемых мембран. Это явление впервые наблюдал Феддерсен (1872), обнаруживший поток воздуха через пористую перегородку (гипс, губчатая платина) при наличии перепада температур на них.

Другую группу явлений составляют термоэлектрические эффекты. Если два разнородных проводника соединены в термодпару, холодные спаи которых замкнуты гальванометром, то в такой системе при наличии перепада температур между спаями наряду с обычной теплопроводностью и электропроводностью наблюдается возникновение электрического тока под действием перепада температур - эффект Зеебека (1823). При этом электрический ток в первом приближении пропорционален градиенту температуры.

Другое явление, наблюдаемое в таких системах - поглощение или выделение тепла на горячем спае термодпары при пропускании через него тока (*эффект Пельтье*, 1834). При этом поток тепла также в первом приближении пропорционален электрическому току

Еще одно явление - выделение тепла одним из электродов термопары и поглощение его другим электродом при прохождении тока через термопару – было теоретически предсказано В. Томсоном и носит название *эффекта Томсона* (1854 ). Термоэлектрические явления широко используются в технике для измерения температур, в термоэлектрических преобразователях тепловой энергии и в холодильной технике.

При наличии магнитных полей к термоэлектрическим явлениям добавляется целая группа термомагнитных и гальваномагнитных явлений. К первым относятся изменение коэффициентов теплопроводности в магнитном поле и возникновение градиента температуры и ЭДС в направлении, перпендикулярном потоку тепла, под действием поперечного магнитного поля (*эффект Риги-Ледука* (1887) и *Эттинсгаузена – Нернста* (1886)). К гальваномагнитным явлениям относятся возникновение под действием магнитного поля ЭДС в направлении, перпендикулярном электрическому току  $I$  (*эффект Холла*); возникновение градиента температур и ЭДС в направлении, перпендикулярном электрическому току (*эффекты Эттинсгаузена* (1887) и *Нернста* (1887)). Среди гальваномагнитных явлений особую роль играет *эффект Холла*, используемый в МГД генераторах электрической энергии, в измерительной технике (магнитные датчики Холла) и т.д.

Знание таких эффектов необходимо не только ученым (физикам, химикам, энергетикам, биологам и т.п.), изучающим реальные процессы во всей их сложности, а также инженерам-технологам, стремящимся оградить проводимый процесс от влияния побочных факторов, но и изобретателям или проектировщикам новых технологических установок, использующим эффекты наложения для повышения их производительности.

### **Основы теории явлений на стыках различных дисциплин**

**Феноменологический подход.** Существует несколько подходов к изучению явлений на стыках естественных наук. Один из них – чисто эмпирический (феноменологический) подход. При чисто эмпирическом описании эффекты наложения описываются путем добавления новых членов к упомянутым выше законам. Например, для термодиффузии к правой части закона Фика прибавляется член, пропорциональный градиенту температуры. Тем самым новый закон утверждает, что поток вещества возникает не только под действием

градиента концентрации (обычная, или концентрационная диффузия), но и под действием градиента температуры (термодиффузия). Обратное явление – возникновение потока тепла под действием градиента концентрации (*эффект Дюфура*) – описывается добавлением в закон Фурье члена, пропорционального градиенту концентрации. Такой же прием применяется и при описании других эффектов наложения. Все подобные обобщенные законы переноса являются феноменологическими в том смысле, что они основываются на опыте. При этом коэффициенты пропорциональности, характеризующие эффекты наложения, находятся тем же экспериментальным путем, что и коэффициенты теплопроводности, электропроводности, диффузии, трения и т. п. Таким образом, при эмпирическом описании эффектов наложения требуется в общем случае  $n^2$  независимых коэффициентов (где  $n$  – число независимых явлений). Никаких указаний о взаимосвязи между эффектами (например, явлениями электроосмоса и потокопроводности) такое описание не содержит.

Недостатком эмпирического подхода является отсутствие общей теории таких процессов, которая указывала бы на связь двух или более налагающихся процессов, позволяла предсказать количество возможных эффектов такого рода, систематизировать их, дать методологическое единое их описание, установить факторы, влияющие на величину этих эффектов и возможность их практического использования. Справедливости ради надо заметить, что большинство из упомянутых явлений рассматриваются и в статистической механике и в кинетической теории. Эти теории дают более глубокое физическое описание явлений и потому более удобны для физиков. Однако они базируются на известных моделях молекул и применимы лишь для ограниченного круга явлений. По этой причине они не обеспечили разработку макроскопической теории необратимых процессов, приемлемой для инженеров. Такой теорией стала термодинамика необратимых процессов (ТНП).

### **Термодинамически – феноменологическое описание**

Возникновение ТНП обусловлено не только возросшим интересом техники XX столетия к явлениям в пограничных областях наук, но и логикой развития самой термодинамики, которая потребовала введения времени в уравнения термодинамики. До этого термодинамика изучала только квазистатические, т.е.

бесконечно медленные процессы и в этом смысле была фактически термостатикой. Переход к изучению нестатических (протекающих с конечной скоростью) процессов происходил постепенно. Первую попытку "перекинуть мостик" между ними предпринял В. Томсон (1854) при создании теории термоэлектричества. Он предложил метод исследования реальных процессов, основанный на расчленении его на обратимую и необратимую части в зависимости от того, изменяют ли наблюдающиеся эффекты свой знак при изменении направления процесса, или нет. Затем он применял уравнения равновесной термодинамики к обратимой части явления, тем самым игнорируя необратимую часть явления. Впоследствии этот метод, названный "*псевдотермостатическим*", был с успехом применен Г. Гельмгольцем (1878) при создании теории концентрационного элемента, В. Нернстом в его теории диффузионного потенциала, Е. Истменом (1926) и К. Вагнером (1929) при исследовании термодиффузии и Г. Лондоном (1938) при изучении термомеханических эффектов в жидком гелии. Однако время по-прежнему не входило в уравнения псевдотермостатики. Оставалось, кроме того, совершенно неясным, почему, в одних случаях одно и то же явление (например, диффузия) должна квалифицироваться как необратимое явление, а в других (например, в явлении термодиффузии) - как обратимая часть явления. Попытки Л. Больцмана (1887, 1909), Д. Майкснера (1939) и Д. Фершафельда (1948) выяснить это на строгой теоретической основе не дали положительных результатов.

Решительный шаг в этом направлении был сделан в 1931 году будущим нобелевским лауреатом Л. Онсагером. Свою формальную теорию скорости физико-химических процессов, названную им *квазитермодинамикой*, он строит на основе выражения для скорости возникновения энтропии. Известно, что в состоянии равновесия энтропия адиабатически изолированной системы  $S$  максимальна. Если параметры неравновесного состояния (температура, давление, концентрации различных веществ и т.п.) отличаются от своих равновесных значений, то естественно предположить, что разность энтропий текущего и равновесного состояний является некоторой функцией этих отклонений, так что причину возникновения какого-либо скалярного процесса (так называемую *термодинамическую силу*) и его обобщенную скорость (называемую потоком) можно найти из выражения для скорости возникновения энтропии.

Таким образом, Онсагер в противоположность Томсону выделяет необратимую часть этих явлений, влияющую на энтропию системы. При этом он постулирует, что при небольших отклонениях от термодинамического равновесия *любой из потоков линейно зависит от всех действующих в системе термодинамических сил*. Эти уравнения, получившие название феноменологических, обобщают известные законы Фурье, Ома, Фика, Дарси, Ньютона и т.п. Дополнительные (недиагональные) слагаемые законов Онсагера были введены им для учета упомянутых выше эффектов, которые он объясняет как результат «наложения» (взаимодействия) нескольких необратимых процессов.

Другое важнейшее положение теории Л.Онсагера состоит в доказательстве им *соотношений взаимности* между "недиагональными" феноменологическими коэффициентами. Основываясь на соображениях статистико-механического характера, он показывает, что при надлежащем выборе потоков и сил (когда потоки независимы, удовлетворяют линейным законам (с постоянными коэффициентами пропорциональности) и обращаются в нуль с исчезновением сил) матрица феноменологических коэффициентов симметрична. Эти соотношения уменьшают число кинетических коэффициентов, подлежащих экспериментальному определению, от  $n$  (при чисто эмпирическом описании) до  $n(n+1)/2$  и приводят к установлению неизвестной ранее взаимосвязи между скоростями разнородных необратимых процессов. По значимости их иногда называют (по предложению Д.Миллера) "четвертым началом термодинамики".

В истории неравновесной термодинамики эта работа сыграла такую же роль, что и труды Р.Клаузиуса для становления классической термодинамики. Она соединила в одно целое разрозненные идеи и факты, представив их в доступной и понятной форме. На этой основе к середине XX столетия усилиями ряда ученых (и в первую очередь другого нобелевского лауреата И.Пригожина) был создан весьма общий макрофизический метод исследования кинетики разнообразных процессов переноса в их неразрывной связи с тепловой формой движения. Это направление вскоре выделилось в самостоятельную область термодинамики со своим методом и определенным кругом решаемых задач. Это направление обогатило теоретическую мысль XX столетия рядом новых принципов общефизического значения (взаимности, минимального производства энтропии и т.п.) и способствовало существенному сближению термодинамики с теорией тепломассообмена, механикой жидкостей и газов, электродинамикой, магнитной гидродинамикой и т.п. Междисциплинарный характер этой теории, а



также ее успехи в познании глубинных взаимосвязей разнородных процессов выдвинули ТНП в число магистральных направлений развития современного естествознания.

Однако ТНП родилась не без ахиллесовой пяты. Исключив из рассмотрения обратимую составляющую реальных процессов, она оказалась не применимой к системам, совершающим полезную работу. Между тем потребности целого ряда наук диктуют необходимость обобщения методов ТНП на такие системы. Это касается прежде всего энергетических установок, осуществляющих полезное превращение энергии, что в первую очередь интересует энергетиков. В не меньшей степени это относится к биологическим объектам, для которых работа является одним из основных проявлений их жизнедеятельности, а также к экологическим системам, где скорость превращения вещества и энергии наряду с их рассеянием определяет восстановительный потенциал природной среды. Анализ процессов “самоорганизации”, наблюдающихся на всех уровнях мироздания (от “восходящей диффузии” до антидиссипативных явлений в ряде областей Вселенной), также был бы неполным без учета упорядочивающего влияния работы. Таким образом, возникла необходимость создания теории, которая не исключала бы из рассмотрения какую-либо (обратимую или необратимую) часть реальных процессов и позволяла бы охватить весь диапазон реальных процессов – от практически бездиссипативных до предельно необратимых. Такая теория была разработана нами в докторской диссертации и названа *термокинетикой* (в противоположность классической термодинамике, рассматривающей бесконечно медленные процессы и потому часто называемой термостатикой).

### **Термокинетический подход**

Возможность дальнейшего обобщения ТНП появилась, когда нами было показано, что состояние пространственно неоднородных сред характеризуется (в отличие от однородных) не только величиной таких «термостатических» параметров, как объем, масса  $k$ -го вещества, заряд, импульс и т.д., но и их положением в пространстве. В этом легко убедиться, сопоставив два состояния системы с одним и тем же значением таких параметров, но с различным его пространственным распределением [4].

Из него следует, что при одном и том же значении какого-либо экстенсивного параметра (т.е. при одной и той же площади под кривыми) положение центра этой величины будет различным. Иными словами, перераспределение указанной величины между частями системы, вызванное отклонением системы от однородного состояния, сопровождается переносом некоторой части этого параметра из одной области системы в другую в направлении, указанном стрелкой. Такое перераспределение приводит к смещению центра этой величины, определяемой его радиус-вектором, от его положения в однородной системе. Таким образом, отклонение системы от однородного состояния выражается в смещении центра этой величины и в возникновении некоторого «момента ее распределения», равного произведению этой величины на указанное смещение. Эти величины были названы нами вслед за Л. Онсагером «векторами смещения» соответственно электрического заряда, энтропии,  $k$ -го вещества и т.п. [4]. В частном случае проводников этот параметр имеет смысл свободного заряда системы, а момент ее распределения приобретает смысл вектора электрического смещения в незамкнутом проводнике как целом. Несложно показать, что производные по времени от моментов распределения характеризуют обобщенную скорость процесса переноса, которая в отличие от скалярных потоков Онсагера имеет векторную природу и более соответствует понятию потока смещения. Введение параметров, характеризующих положение в пространстве центра какой-либо термостатической величины, позволяет распространить ньютоновское понимание силы как производной от энергии системы по пространственной координате на явления немеханической природы. Благодаря этому все силы в термокинетике получают единый смысл и единую размерность, что позволяет находить *результатирующую* этих сил. В таком случае удастся показать, что в противоположность постулату Онсагера *обобщенная скорость какого-либо независимого процесса определяется единственной (результатирующей) движущей силой*.

Справедливость этого положения для широкого класса процессов, рассматриваемых обычно в рамках ТНП, показана нами в докторской диссертации и в ряде статей. При этом обобщение законов Фурье, Ома, Фика, Дарси, Ньютона и др. на случай действия в системе нескольких сил осуществляется простой заменой фигурирующей в них силы на результирующую силу при сохранении формы самого уравнения. Такой (термокинетический) подход приводит к дальнейшему сокращению числа кинетических коэффициентов, подлежащих

экспериментальному определению, от  $n(n+1)/2$  в ТНП до  $n$ . Кроме того, открывается возможность выхода ТНП за рамки линейных законов и исследования систем, более далеких от состояния равновесия. Связано это с тем, что в термокинетике для нахождения стационарных эффектов наложения не требуется применения соотношений взаимности Онсагера, которые нарушаются в нелинейных системах. При этом сами эффекты наложения могут быть найдены из условия компенсации различных компонент результирующей силы. В частности, для явлений, связанных с переносом какого-либо вещества, результирующая сила диффузии включает три составляющие, одна из которых содержит градиенты концентрации всех независимых веществ и ответственна за обычную (концентрационную) диффузию; вторая – содержит градиенты температуры и ответственна за термодиффузию, а третья содержит градиенты давления и ответственна за бародиффузию и осмос. Когда результирующая этих сил обращается в нуль (наступает материальное равновесие), соотношения между компонентами этой силы характеризуют соответственно термодиффузионный, осмотический и термомеханический эффекты. При этом сами эти эффекты получают новое объяснение как результат наложения разнородных сил (а не разнородных потоков, как в ТНП).

Все это наряду с последовательно термодинамическим (не опирающимся на гипотезы, постулаты и соображения статистико-механического характера) обоснованием всех положений термокинетики делает ее очень удобным и универсальным методом исследования разнообразных процессов переноса и преобразования любых форм энергии, независимо от принадлежности этих процессов к тем или иным областям естествознания. Благодаря всем этим достоинствам термокинетике второе издание монографии «Термодинамика неравновесных процессов переноса и преобразования энергии» [4] было рекомендовано в качестве учебного пособия для технических университетов России.

### **К синтезу теорий переноса и преобразования энергии**

Возросший интерес к явлениям на стыках фундаментальных наук, с которыми связаны важнейшие научные достижения как в промышленности, так и в медицине, побуждает высококвалифицированных и инициативных специалистов время от времени «учреждать» новые промежуточные дисциплины на стыках этих наук. Такие «синтетические» науки имеют полное право на существование, если

они обогащают наши представления о нас самих и об окружающем нас мире. К числу таких дисциплин относятся *термомеханика, электромеханика, биомеханика, термохимия, электрохимия, биохимия* и др. В качестве еще одного примера упомянем *термоэкономику* – науку на стыке термодинамики и экономики. Это научное направление ставит своей задачей соизмерение положительного эффекта от повышения термического КПД теплоэнергетических установок – экономию топлива - с капитальными и текущими затратами на достижение этого эффекта, а также с другими издержками, связанными со снижением надежности, маневренности энергетических установок, экологическим ущербом от них и т.п. Вряд ли необходимо доказывать, насколько своевременным является такой «сбалансированный» подход по сравнению с однобоким классическим критерием эффективности таких установок.

Однако рождение этих новых дисциплин имеет и нежелательные издержки. Дело в том, что каждая наука, едва родившись, ограждает себя, как правило, довольно основательным «забором» из новых понятий, терминов и исходных принципов. Появление таких «междисциплинарных барьеров» обусловлено самой спецификой объекта и метода исследования, без которых не может обойтись никакая новая научная дисциплина. Немаловажную роль играет также стремление ограничить круг людей, свободно «разгуливающих» на «застолбленной территории». Хуже всех в этой ситуации приходится студентам, изучающим эту новую дисциплину, поскольку им помимо иностранных языков приходится преодолевать массу терминологических барьеров, прежде чем они приобретут хотя бы понятие о предмете.

Возможное количество таких дисциплин составляет  $n(n-1)/2$ , где  $n$  – число фундаментальных дисциплин. Если, например, ограничиться шестью фундаментальными научными дисциплинами, такими как механика жидкостей и газов, термодинамика, химия, электродинамика, биология и экономика, то число возможных «синтетических» дисциплин уже достигнет полутора десятков. Некоторые из них практически сформировались. К ним можно отнести *термомеханику* (изучающую явления термоупругости и термопластичности, а также реологию), *электромеханику* (теоретическую основу электротехники), *электрохимию* (изучающую процессы, происходящие в топливных элементах и химических источниках тока, гальванических печах, электролизерах и т.п.), *биоэлектронику* (изучающую электрические процессы в живых организмах и

возможности их моделирования в технических системах), а также уже упоминавшуюся *термозкономику* (которую с учетом ее неразрывной связи с математикой предлагается называть *экоматермикой* [5]). Однако эти дисциплины составляют лишь одну треть из числа возможных. Это означает, что упомянутые выше трудности размежевания различных научных дисциплин будут лишь нарастать.

Практический вывод из вышеизложенного состоит в том, что в настоящее время следует стремиться не к дроблению фундаментальных наук на все новые и многочисленные направления, а к их **синтезу**. Настало время, как сказано в Библии, «собирать камни». Сейчас никто не оспаривает мнение К. Маркса, что со временем будет существовать только одна наука – наука о человеке и его взаимоотношении с окружающей средой. Для этого все научные направления, а особенно фундаментальные, должны «работать» в тесном контакте. Предпосылки к их синтезу создает установленное в рамках термокинетики единство процессов переноса и преобразования энергии. Это позволяет выдвинуть на передний план задачу перехода от *термодинамики* как теории теплоты к *энергодинамике* как науке об общих закономерностях процессов переноса и преобразования энергии независимо от их принадлежности к той или иной области знаний. Такой (междисциплинарный) подход явился бы, на наш взгляд, серьезным шагом не только в системе подготовки инженерных кадров, но и мощным подспорьем при разработке прогрессивных технологий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Физический энциклопедический словарь (п/р А.М. Прохорова). М.: Энциклопедия, 1983
2. Хазе Р. Термодинамика необратимых процессов. М.: Мир, 1967
3. Де Грот С.Р., Мазур П. Неравновесная термодинамика. М. : Мир, 1964
4. Эткин В.А. Термокинетика (термодинамика неравновесных процессов переноса и преобразования энергии. Тольятти, 1999.
5. Бурдаков В.П. Эффективность жизни (экоматермика). М.: Энергоатомиздат, 1997.