

МЕЖДУНАРОДНЫЕ СИМПОЗИУМЫ ПО СВС (ПРЕДЫСТОРИЯ, ЗНАЧИМОСТЬ, СТАТИСТИКА)

В.В.БАРЗЫКИН, д-р физ.-мат. наук, проф.

ПРЕДЫСТОРИЯ. ОБ ОРГАНИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО СВС В НАШЕЙ СТРАНЕ И ЗА РУБЕЖОМ. РОЛЬ СИМПОЗИУМОВ

Явление самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (твердого пламени*) было впервые обнаружено в 1967 г. А.Г.Мержановым, И.П.Боровинской и В.М.Широ при изучении горения смеси порошков титана и бора в Лаборатории (позднее отделе) макрокинетики ИХФ АН СССР, впоследствии (1987 г.) реорганизованной в Институт структурной макрокинетики (ИСМАН) (с 1997 г. – Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН), который возглавил А.Г.Мержанов.

На начальном этапе проводились лабораторные инициативные исследования, направленные на изучение механизма горения различных СВС-систем и выяснение факторов, определяющих состав и свойства продуктов горения, а также технологические возможности получения больших количеств продуктов и изделий. Эти исследования проводили сначала в Черноголовке, а затем в Томске, Ереване, Самаре, Киеве, Баку, Москве, Ленинграде, Ташкенте и других городах.

В 1979 г. начала осуществляться государственная поддержка работ. По постановлениям Совета Министров СССР был построен целевой «комплекс зданий и сооружений СВС» в Черноголовке, организован Научный совет по теории и практике СВС-процессов при ГКНТ, принята общесоюзная программа работ. Был создан Межотраслевой научно-технический комплекс «Термосинтез», объединивший (во главе с ИСМАН) исследовательские, конструкторско-технологические, производственные организации и ряд специально созданных научно-технических центров СВС.

С 1980 по 1989 г. было проведено 9 тематических сессий Научного совета, большой популярностью пользовались Всесоюзные школы-семинары по СВС-процессам. Начиная с 1969 г. работы по СВС регулярно представляются на всесоюзных симпозиумах по горению и взрыву, конференциях по технологическому горению, процессам в химической технологии и металлургии и др.

* Официальное название открытия – «Явление волновой локализации твердофазных автотормозящихся реакций».

С 1992 г. в связи с распадом СССР государственная поддержка работ прекратилась, МНТК «Термосинтез» перестал существовать. Организации стали работать по специальным заказам, контрактам, грантам. Стала заметно увеличиваться роль международного сотрудничества.

Исследования в области СВС за рубежом начали активно развиваться с 1981 г. До этого времени (в период 1973 – 1980 гг.) публиковалось по 1-2 работы в год, в основном, по исследованию горения систем, близких к используемым для СВС, без определенной технологической направленности. Ситуация резко изменилась после опубликования в 1981 - 1982 гг. Агентством по планированию научно-технических разработок (System Planning Corporation, США) двухтомного обзора «Материалы, полученные методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в Советском Союзе» (*SPS Report 81-4082. Vol. 1. Dec. 1981. SPS Report 81-4083. Vol. 11. Dec. 1982*) и обзорного доклада Дж.Крайдера на 6-й ежегодной Конференции по металлокерамическим системам в 1982 г. «Самораспространяющийся высокотемпературный синтез – советский метод получения керамических материалов» (*Ceram.Engineering and Science Proceedings. 1982. 3. N 9-10. P. 519 - 528*). Количество организаций, работающих в области СВС, стало быстро расти. Наиболее широко исследования по СВС стали проводиться в США, Японии и Китае. Этой проблемой начали заниматься такие крупные исследовательские центры США, как Калифорнийский университет, университет в Нотр Дам, Технологический институт в Атланте, университет в Буффало, Лос-Аламосская национальная лаборатория, фирма «Дженерал электрик», Национальная Ливерморская лаборатория им. Лоуренса и др. В Японии активные исследования в области СВС начали проводиться в Государственном институте прикладных исследований, Осаком университете, университете Рукоку, Токийском технологическом институте, в ряде промышленных фирм. Быстро возрастает число исследовательских групп в Китае. Общее число стран, представители которых публикуют (или публиковали) результаты исследований в области СВС, в настоящее время достигло 47. Возникает и интенсивно развивается международное сотрудничество российских и зарубежных

ученых. Проводятся тематические сессии по СВС в рамках международных симпозиумов по горению, порошковой металлургии, керамике и др., организуются двухсторонние семинары, заключаются международные коммерческие соглашения и контракты по СВС, с 1992 г. издается (редактор – А.Г.Мержанов) международный журнал по самораспространяющемуся высокотемпературному синтезу (Int. J. SHS).

В настоящее время ежегодно по тематике СВС выходит из печати около 700 статей примерно в 80 отечественных и международных журналах. В Int. J. SHS публикуется около 15 процентов общего количества статей. Регулярно публикуют статьи по СВС такие издания, как J. Mater. Res. Metallurgical and Mater. Trans. Доклады Академии наук, Физика горения и взрыва, Combust. Techn., J. Mater. Sci. и др. Проблемам СВС посвящен целый ряд монографий, тематических сборников, учебных пособий и других изданий. В Московском институте стали и сплавов появилась специализация «Процессы СВС»*.

Особое место в ряду мероприятий, способствующих сотрудничеству ученых, занимают международные симпозиумы по СВС, которые регулярно (раз в 2 года) проводятся Международным оргкомитетом под руководством А.Г.Мержанова. Эти симпозиумы играют важную организующую и направляющую роль в изучении проблемы СВС, дают возможность ученым из разных стран не только ознакомиться с новыми фундаментальными и прикладными результатами, но и установить полезные контакты и наметить направления совместных исследований.

ХРОНОЛОГИЯ, МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ, ОСОБЕННОСТИ И ТЕМАТИКА СИМПОЗИУМОВ

Первый симпозиум проходил 23 - 28 сентября 1991 г. в г. Алма-Ата (Казахстан). На симпозиум приехали представители 16 стран (включая 9 стран дальнего зарубежья), продемонстрировав интерес к проблеме и готовность к взаимодействию. Для наших исследователей это была первая возможность встретиться с зарубежными коллегами, познакомиться и наладить деловые контакты. По числу представленных докладов (таблица 1) выделялись Россия, Казахстан (организатор симпозиума), США, Китай, Армения и Япония. Это был первый и последний симпозиум по СВС, про-

веденный в СССР, – через 3 месяца СССР перестал существовать.**

Тематика представленных докладов была весьма широкой и отражала высокий уровень развития проблемы к тому времени. Более двух третей представленных на этом симпозиуме докладов было посвящено научным основам СВС (закономерностям и теории горения СВС-систем, термодинамике и кинетике СВС-процессов, теории и математическому моделированию СВС-процессов, структурной макрокинетики СВС-процессов, химии СВС-горения). Достаточно серьезное внимание было уделено СВС-технологиям и свойствам получаемых методом СВС материалов.

Следует отметить, что в России и странах СНГ, особенно на начальном этапе развития СВС как нового направления, проблемой занимались преимущественно исследователи процессов горения. Представители материаловедческой науки и технологии первое время проявляли сдержанный интерес. В зарубежных странах (в первую очередь, в Японии и Китае) СВС был сразу воспринят как передовая технология с большими возможностями, им заинтересовались прежде всего ученые и инженеры, занимающиеся созданием новых материалов, хорошо знающие материаловедение и технологию, но не являющиеся специалистами в области горения. Поэтому международный научный форум, на котором специалисты по горению и взрыву и представители материаловедческой науки смогли встретиться и обсудить интересующие их вопросы, был исключительно плодотворным, что и предопределило устойчивый интерес отечественных и зарубежных специалистов к участию в последующих симпозиумах.

Второй симпозиум был проведен 7 - 10 ноября 1993 г. в г. Гонолулу (Гавайи, США). Симпозиум проводился в рамках ежегодной сессии Американского керамического общества, поэтому на его заседаниях получил возможность присутствовать наряду с представителями 13 стран, официально участвовавших в симпозиуме, широкий круг представителей материаловедения США и ряда других стран. Кроме того, в рамках симпозиума был проведен двухсторонний российско-американский семинар, позволивший обсудить вопросы, представляющие взаимный интерес, и наметить направления совместных научных и технологических исследований. Интересу, проявленному к симпозиуму, способствовало то, что наряду с результатами фундаментальных исследований были рассмотрены перспективы их практического применения, в частности, вопросы маркетинга и коммерциализации. Одним из главных результатов симпозиума было признание международным керамическим сообществом

* Интересующимся историей развития исследований по СВС в нашей стране и за рубежом будет интересно ознакомиться с обзорной статьей академика А.Г.Мержанова «История и последние достижения СВС» (Процессы горения и синтез материалов: Сб. ст. Черноголовка, 1988. С. 311 - 337.) и сборником статей под ред. проф. А.М.Столина о ведущих зарубежных ученых (Зарубежные школы СВС: Сб. ст. Черноголовка: ИСМАН, 1988. 96 с.).

** Для единообразия представления статистических данных в этой статье не делается различия между республиками СССР и странами СНГ.

того факта, что СВС является одним из важнейших направлений в теории и практике современного материаловедения.

Третий симпозиум проводился 23 - 27 октября 1995 г. в Китае. Открытие состоялось в университете г. Ухань, а все тематические заседания прошли на борту теплохода, совершающего круиз по одной из величайших рек мира Янцзы, что оставило неизгладимые впечатления у участников, приехавших из 15 стран. Отличительная сторона этого симпозиума – активное участие ученых из азиатских стран, особенно из Китая. Можно с уверенностью сказать, что симпозиум дал мощный толчок к развитию СВС в Азии. Китайские специалисты продемонстрировали не только возрастающий интерес к исследованиям по СВС, но и большое желание использовать результаты этих исследований на практике. Те участники симпозиума, которые воспользовались любезным приглашением организаторов ознакомиться с научными лабораториями, были поражены уровнем обеспечения современными приборами, хорошей профессиональной подготовкой китайских исследователей, многие из которых прошли стажировку за рубежом, и очевидным энтузиазмом видящих научную перспективу исследователей. Следует заметить, что и на симпозиуме китайцы выделялись активным стремлением как можно полнее использовать возможности получения новой информации и установления научных контактов.

Четвертый симпозиум состоялся 6 - 9 октября 1997 г. в г. Толедо (Испания). В Испании совместно с Россией построен завод, на котором организовано промышленное производство СВС-порошков с современным уровнем автоматизации и электронным управлением. Именно поэтому испанцы взялись за организацию симпозиума. Отличительной чертой этого симпозиума стало резкое увеличение стран - участниц из Европы (на предыдущих симпозиумах присутствовали представители 3 - 4 стран, а в Толедо – 12, число докладов возросло с 4 - 5 до 46). Возможно, что сказалось удобное географическое положение Испании, но следует отметить, что после Толедо на последующих симпозиумах активность европейцев не уменьшилась (см. табл. 1). Объем этой заметки не дает возможности останавливаться на тематике конкретных докладов. Интересующимся можно порекомендовать *Int. J. SHS*, в котором публикуются статьи по наиболее значимым докладам всех симпозиумов, а также, начиная с 3-го симпозиума, отчеты-обзоры (*Int. J. SHS*. 1995. V.4. N4, P. 409 - 415; 1998. V.7. N1. P. 137 - 143; 1999. V.8. N3. P. 385 - 391).

Пятый симпозиум был проведен 16 - 19 августа 1999 г. в Москве, в феешенебельном Президент-отеле. Симпозиум собрал рекордное количество стран-участников (26) и, по общему мнению, превзошел преды-

дущие симпозиумы по разнообразию тематики и качеству организации. В программу симпозиума был включен ряд новых тематических сессий (ударные волны и детонация, гравитация и микрогравитация, влияние электрических и электромагнитных полей, экология, СВС органических систем и др.). Впервые были организованы лекции приглашенных ведущих ученых по смежным вопросам, представляющим интерес для специалистов по СВС (механохимия, фильтрационные процессы в жидких средах, экология, диссипативные структуры). Также впервые были организованы так называемые «круглые столы» – заседания с объявленной темой, но без заявленных докладов. Тематика «круглых столов» – прикладная математика в СВС, СВС и перспективные металлургические направления, градиентные СВС структуры и материалы, СВС в химическом производстве, воздействие электрических полей на СВС, индустриализация и коммерциализация СВС – вызвала интерес участников. Форма «круглый стол» позволила вести активные и плодотворные дискуссии. Лекции по смежным дисциплинам и «круглые столы» по желанию участников было решено практиковать и на следующих симпозиумах.

Шестой симпозиум планируется провести 17 - 21 февраля 2002 г. в г. Хайфа (Израиль). На симпозиуме предполагается, помимо традиционных направлений, подробно обсудить вопросы индустриализации, обратить внимание на такие важные вопросы, как контроль управления технологическим процессом, оптимизация производства, анализ экономического эффекта, создание автоматизированных линий и т.п.

Планируется провести «круглые столы» по тепловому взрыву, фазо- и структурообразованию в СВС-процессах, СВС-керамике, гравитационной СВС-технологии. Как и на 5-м симпозиуме, предполагается заслушать лекции ведущих ученых по смежным вопросам. Заявки на участие в симпозиуме поступили из 23 стран. В рамках симпозиума в Хайфе будет проведен двухсторонний семинар российской и израильской секций Международного института горения.

НЕКОТОРЫЕ СТАТИСТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

В табл. 1 отражено количество докладов, представленных на состоявшихся 5 симпозиумах, систематизированное по странам и континентам, без исключения несостоявшихся докладов (таких сведений не сохранилось). Доклады, представленные от двух и более стран, учитывались для каждой страны (чтобы не иметь дело с дробными цифрами). В таблицу также включены данные предварительной программы 6-го симпозиума. Из таблицы видно, что:

✎ общее количество стран, представители которых принимали участие в симпозиумах, непрерывно растет, что свидетельствует об увеличении интереса к проблеме СВС;

Таблица 1

Количество докладов, представленных от различных стран

Страна	Симпозиумы						Итого (на 6 симпозиумах)
	I 1991	II 1993	III 1995	IV 1997	V 1999	VI* 2002	
СНГ							
Армения	11	2	5	6	7	10	41
Белоруссия	7	2	4	3	6	7	29
Грузия	4		1			3	8
Казахстан	18	3	1		3	2	27
Киргизия	1						1
Россия	123	42	81	88	125	110	569
Украина	4		2	3	1	3	13
Итого докладов (стран)	168 (7)	49 (4)	94 (5)	100 (4)	142 (5)	135 (6)	688 (7)
Европа							
Англия				1	5	7	13
Болгария	1						1
Германия	1			3	2	4	10
Голландия				1	3	2	6
Греция				2	3	2	7
Испания			2	7	3	5	17
Италия		1	1	6	11	8	27
Македония				6			6
Польша	2	2	2	8	3	10	27
Португалия				2			2
Румыния				3			3
Финляндия				1	2		3
Франция		1		6	12	10	29
Чехия	1						1
Швеция					1		1
Югославия						2	2
Итого докладов (стран)	5 (4)	4 (3)	5 (3)	46 (12)	45 (10)	50 (9)	155 (16)
Азия							
Израиль				1	4	13	18
Индия	1	1	3		2	3	10
Китай	12	13	62	32	26	20	165
Корея		2	5	6	3	3	19
Малайзия				1			1
Тайвань	1	3	2	2	4	4	16
Япония	9	16	9	14	14	9	71
Итого докладов (стран)	23 (4)	35 (5)	81 (5)	56 (6)	53 (6)	52 (6)	300 (7)
Америка							
Бразилия				7	5		12
Канада			1	2	1	2	6
США	17	27	14	31	26	32	147
Итого докладов (стран)	17 (1)	27 (1)	15 (2)	40 (3)	32 (3)	34 (2)	165 (3)
Африка							
Алжир					2		2
Марокко					1		1
Итого докладов (стран)					3 (2)		3 (2)
Всего стран**	16	13	15	25	26	23	35
Примечания. * Использовались данные предварительной программы. ** В итоговой колонке исключены повторения.							

Таблица 2

Совместные доклады

Симпозиум		I 1991	II 1993	III 1995	IV 1997	V 1999	VI* 2002	Итого (на симпозиумах)
Национальные совместные доклады	Количество докладов	24	13	34	28	48	56	203
	Число стран, от которых они представлены**	3	3	8	11	15	12	21
Международные совместные доклады	Количество докладов	10	6	20	28	32	42	138
	Число стран, от которых они представлены**	10	4	7	16	17	16	30
Примечания. * Использовались данные предварительной программы. ** В итоговой колонке исключены повторения.								

Таблица 3

Алфавитный список стран, в которых проводятся (проводились) исследования по СВС*

Австралия	Иран	Румыния (4)
Алжир (5)	Испания (3 - 6)	Сингапур
Англия (4 - 6)	Италия (2 - 6)	Словения
Аргентина	Казахстан (1-3, 6)	США (1 - 6)
Армения (1 - 6)	Канада (3 - 6)	Тайвань (1 - 6)
Белоруссия (1 - 6)	Киргизия (1)	Турция
Бельгия	Китай (1 - 6)	Украина (1, 3 - 6)
Болгария (1)	Корея (2 - 6)	Финляндия (4,5)
Бразилия (4,5)	Македония (4)	Франция (2, 4 - 6)
Венгрия	Малайзия (4)	Чехия (1)
Германия (1, 4 - 6)	Мексика	Швейцария
Голландия (4 - 6)	Марокко (5)	Швеция (5)
Греция (4 - 6)	Новая Зеландия	ЮАР
Грузия (1,3, 6)	Польша (1 - 6)	Югославия (6)
Израиль (4 - 6)	Португалия (4)	Япония (1 - 6)
Индия (1 - 3, 5, 6)	Россия (1 - 6)	
Примечание. * В скобках указано, на каких симпозиумах от страны были представлены доклады.		

✍ можно выделить ряд стран, которые принимали участие во всех симпозиумах (Россия, Китай, США, Япония, Армения, Белоруссия, Польша, Тайвань), и страны, принявшие участия в 5 симпозиумах из 6 (Италия, Казахстан, Корея, Индия);

✍ обращает на себя внимание очень резкое увеличение (начиная с 4-го симпозиума) интереса к проблеме СВС в ряде европейских стран (Франция, Испания, Англия, Германия и др.).

В таблице 2 приведена интересная статистика по совместным докладом, которая отчетливо показыва-

ет, что от симпозиума к симпозиуму увеличивается как международное сотрудничество (все большее число докладов авторов, работающих в различных странах), так и сотрудничество внутри отдельных стран (существенно растет число докладов, представляемых от нескольких организаций внутри страны).

В таблице 3 дан алфавитный список стран, в которых проводятся (или проводились) исследования по СВС. Из таблицы видно, что общее количество таких стран – 47, представители 35 из них участвовали в симпозиумах по СВС.