

ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ОБЪЕКТА “УКРЫТИЕ”

С. И. Азаров, Р. Р. Перимов

Институт ядерных исследований НАН Украины

Представлены результаты исследования процессов возникновения пожаров и взрывов на объекте “Укрытие”. Приведены данные по оценке и прогнозированию пожароопасного состояния объекта.

Введение

В объект (под названием “объект “Укрытие”) разрушенного реактора № 4 Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) входит совокупность сооружений, состоящих из поврежденного запроектной аварией 4-го энергоблока ЧАЭС и вновь возведенных защитных конструкций и ограждений, которые закрывают выброшенные из активной зоны реактора открытые источники радиоактивности суммарной активностью свыше 20 МКи (1,3 МКи — ^{137}Cs , 0,7 МКи — ^{90}Sr и 0,03 МКи — трансурановые элементы), изоляция которых в силу ряда причин не может быть надежной и долговечной [1–6].

По своему назначению и выполняемым функциям объект “Укрытие” (далее — объект) является уникальным сооружением и не имеет аналогов в мировой практике. Объект не может быть отнесен ни к одному из известных объектов в атомной промышленности, так как не соответствует международным требованиям по ядерной, радиационной и общетехнической безопасности.

Объект “Укрытие” является совокупностью сложных технических сооружений, локализующих значительное количество делящихся радиоактивных, горючих материалов и взрывоопасных веществ, высвобожденных в результате аварии на 4-м блоке ЧАЭС в 1986 г. Объект может рассматриваться как система, содержащая источники ядерной, радиационной и общетехнической опасности и имеющая один защитный барьер — внешнее укрытие (оболочку) без внутренних противопожарных преград, пожарных разрывов и огнепреграждающих барьеров.

Экспертная оценка объекта по пожарной опасности, проведенная на основе наиболее консервативного подхода, показала [2, 3]:

- значительную пожарную нагрузку (около 2 тыс. т горючих материалов);
- снижение ряда барьеров опасности и уровня пассивной пожарной защиты ограждающих конструкций, не способных локализовать по-

жар, их неопределенный предел огнестойкости и срок службы;

- имеющиеся случаи возгорания в помещениях объекта.

Таким образом, можно констатировать, что объект представляет собой разрушенный запроектной аварией 4-й блок ЧАЭС; в нем существует вероятность возникновения и развития пожара, который может явиться причиной разрушения физических барьеров, нарушения герметичности и выхода радиоактивных продуктов сгорания за его пределы [4–12].

Целью данной работы является сбор, анализ и экспертная оценка информации о взрыво- и пожарно-техническом состоянии помещений объекта “Укрытие”.

Анализ состояния пожарной опасности объекта “Укрытие”

За период 1986–2002 гг. на объекте произошло семь пожаров и возгораний, которые были вызваны в основном нарушениями правил пожарной безопасности при проведении огневых работ [5]. Наиболее опасными из них были пожары в помещениях 402/3; 403/3-4 и 805/3, которые рассмотрим более подробно [6–9].

Пожар в помещениях объекта характеризуется определенными событиями, путями протекания и последствиями. Наличие на объекте значительного количества горючих материалов, хранящихся неорганизованно в не изолированных в пожарном отношении условиях (при отсутствии герметичных огнепреграждающих барьеров и пожарных разрывов), а также неопределенность в пределах огнестойкости строительных конструкций при воздействии внутренних и внешних исходных событий может привести к возгоранию. Наличие оставшейся после аварии разветвленной системы приточно-вытяжной вентиляции лифтовых шахт и лестничных клеток, а также кабельных шахт, туннелей и каналов способствует быстрому распространению огня по помещениям и развитию пожара.

Пожар в помещении 402/3 (двигателей главных циркуляционных насосов) начался в 1 ч 40 мин. Размеры помещения 13×54×19 м, средняя пожарная нагрузка более 600 МДж/м². Поверхностное загрязнение горючих материалов в зоне пожара для α -излучающих радионуклидов от 100 до 300 част./(см² · мин). Горели изоляция кабеля силовых сборок из поливинилхлорида, полимерное покрытие полов из пластиката П-57-40, машинное масло Т-22 и лакокрасочное покрытие стен. Огонь распространялся в сторону помещения 403/3-4 (шахты опускных трубопроводов) по направлению к 3-му энергоблоку ЧАЭС [10, 11].

Возгорание в помещении 805/3 воздуховодов вытяжной вентиляции (объемом 2880 м³, со средней пожарной нагрузкой более 400 МДж/м²) произошло в результате воздействия тепла от электролампы внешнего освещения на масляное пятно на досках. Полностью сгорели шпальные выкладки объемом 1 м³, кабели типа ЗХПВ-10 длиной 20 м с изоляцией из ПВХ (общая масса горючей изоляции ~3500 кг). Средняя скорость распространения пламени по поверхности кабеля составляла 0,5 м/мин, а максимальная температура в зоне пожара превышала 1073 К [12–14].

Удельный вес горючих материалов в общей пожарной нагрузке был следующий: 36% — древесина, 42% — полимерные материалы (пластикат ПВХ), 15% — изоляция кабелей, а остальное — строительный мусор.

На тушение пожаров было направлено девять отделений общей численностью 282 чел., из которых 47 сотрудников получили дозу внешнего облучения более 20 бэр. Работы по локализации и ликвидации пожаров продолжались в течение 7 ч.

В качестве пожарной нагрузки в помещениях объекта могут быть [7–9]:

- изоляция сохранившихся после аварии кабелей систем контроля, управления и обеспечения безопасности бывшего 4-го блока, кабельные потоки вновь проложенных систем обеспечения научно-исследовательских и строительно-монтажных работ на объекте;
- 170 т графитовых блоков и их обломков;
- около 14000 т твердых материалов, сброшенных с вертолетов (1500 т свинцовой дробы, 5220 т свинцовых чушек, 3532 т мраморной крошки, 1167 т доломита, 42 т карбида бора, 489 т каучука, 1890 т цеолита), и 140 т полимеризирующихся жидкостей;
- десятки тонн пирофорной топливной пыли (так называемые “горячие частицы”) и графитовой пыли с характерными размерами частиц от долей до сотен микрометров;
- лакокрасочные материалы стен, монтажных пространств, защитных кожухов оборудования и емкостей технологического оборудования;

- сотни тонн горючего строительного мусора (парашютные купола и стропы, комбинезоны, мешки и ветошь, картонные и деревянные ящики и др.);
- десятки тонн горючего “сухого” остатка органических компонентов пылеподавляющих составов на основе водного раствора поливинилового спирта (ПС-32, ВЛ-85-03), водной дисперсии бутадиенстирольного латекса (СКС-65гп) и сополимерной акрилатной дисперсии.

С другой стороны, пожарную нагрузку на объекте можно классифицировать следующим образом: первичные и вторичные горючие материалы. Первичные были рассмотрены выше. Ко вторичным горючим материалам относятся газообразные продукты радиолиза воды, полимерных материалов, а также взвешенная и осевшая пыль (около 30 т радиоактивной пыли).

Если с анализом пожарно-технических характеристик первичных горючих материалов не возникает проблем, то со вторичными много неясностей.

Мало известен механизм и скорость образования газообразных смесей и пылевых частиц, а также параметры, влияющие на их горючесть и взрываемость.

В связи с тем, что внешняя защитная оболочка объекта негерметична, внутрь него постоянно поступает вода извне. Оценка верхней границы среднегодового поступления воды в помещения объекта из атмосферы с дождем и снегом такова: на поверхности бывшего центрального зала находится около 3000 м³ воды, в деаэрационной этажерке — 1800 м³ и в машинном зале — 6000 м³. Из воды, взаимодействующей с топливосодержащими материалами (ТСМ), может выделяться радиолитический водород. Вероятность этого процесса зависит, с одной стороны, от дисперсности ТСМ, находящихся в различных структурных и композиционных формах, степени влагонасыщенности и мощности дозы излучения, а с другой — от наличия на объекте остатков реакторного графита, изоляции кабеля, пластика, строительного мусора и других материалов, которые под воздействием радиации могут образовывать взрывоопасные газы.

Анализ пожаровзрывоопасности веществ и материалов, находящихся в помещениях объекта “Укрытие”, проводился в последовательности, указанной на схеме (рисунок).

Было рассмотрено три варианта образования радиолитического водорода при взаимодействии ТСМ с водой [15]:

- ядерное топливо залито водой;
- топливная пыль находится под водой;
- в поровом пространстве ТСМ находится вода, массовая доля которой известна.

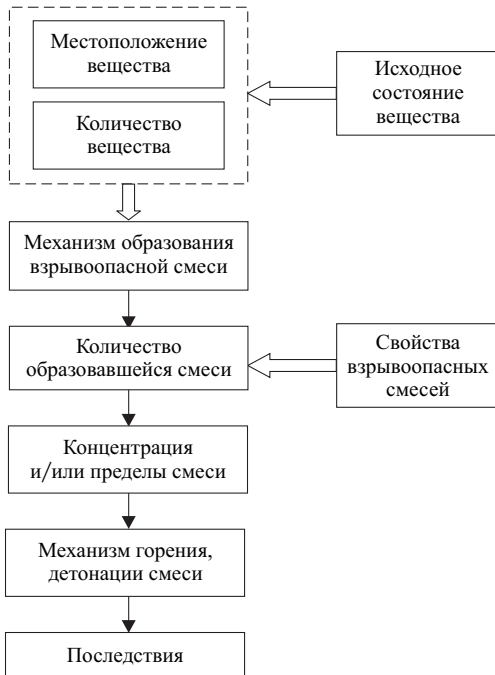


Схема анализа пожаровзрывоопасных веществ и материалов в помещениях объекта "Укрытие"

Скорость выхода радиолитического водорода определялась по формуле [16]:

$$W_{H_2} = \frac{d(H_2)}{dt} = G_{H_2} Q_u \cdot 100 N_A, \quad (1)$$

где G_{H_2} — радиационно-химический выход водорода;

Q_u — удельная мощность источника излучения;

N_A — число Авогадро.

Здесь

$$Q_u = \sum_i q_{u_i} E_0 x_{uO_2} \rho_{uO_2}, \quad (2)$$

где q_{u_i} — удельная активность 1-го изотопа;

E_0 — средняя энергия распада;

x_{uO_2} — объемное содержание ядерного топлива;

ρ_{uO_2} — плотность ядерного топлива.

Расчеты по формулам (1, 2) показывают, что суммарный выход радиолитического водорода не превышает $1,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{ч}$ с площади поверхности воды 1 м^2 над слежавшейся топливной пылью и $5,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{ч}$ над слоем ядерного топлива. Для воды, содержащейся в порах и трещинах ТСМ массой 1 т, скорость образования водорода не превышает $0,98 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{ч}$.

В помещениях объекта "Укрытие" также находится около 2000 т органических полимерных материалов (полиэтилен, поливиниловый спирт, поливинилхлорид и др.), в которых при радиационном облучении происходят процессы образования молекул с небольшой массой. Эти продукты различаются по массе, стабильности и реакционной способности. В зависимости от этих параметров они в виде газа или пара будут выделяться из полимерных материалов, претерпевать дальнейшие превра-

щения или реагировать с другими молекулами. Среди выделяющихся продуктов радиолитического полимерных материалов могут оказаться взрывоопасные газы и токсичные вещества, представляющие опасность загорания или взрыва [14–17].

Скорость радиационного выделения летучих продуктов при радиолитическом разложении полимеров определялась следующим образом [17]:

$$\begin{cases} \frac{d[W]}{dt} = G_W I_\Sigma - K[W][R] \\ \frac{d[R]}{dt} = K[R][W] \end{cases}, \quad (3)$$

где W — количество выделившихся летучих продуктов;

G_W — радиационно-химический выход газов;

I_Σ — суммарная мощность поглощенной дозы в полимере;

R — радикал;

$K[R]$ — константа скорости реакции.

Результаты расчетов показали, что скорость образования взрывоопасных газов в результате радиолитического разложения полимерных материалов под действием излучения не превышает 2 м^3 в год и для обеспечения в помещении объемом 100 м^3 концентрации водорода ниже 0,4% об. достаточна кратность обмена газовой фазы 10^{-3} ч^{-1} .

Для возникновения аварийного взрыва внутри помещений объекта необходимо наличие трех компонентов [3–5]:

- источника воспламенения;
 - концентрации взрывоопасного газа в атомарном состоянии от 1 до 10%;
 - концентрации кислорода в пропорции, превышающей 11% об. взрывоопасной смеси.
- Основными причинами воспламенения взрывоопасной смеси в помещениях объекта могут быть [6]:
- нарушение правил пожаробезопасности при выполнении работ;
 - самовоспламенение газов, абсорбированных в ТСМ;
 - разряд статического электричества.

Изменение концентрации взрывоопасных газов в замкнутом помещении описывается уравнением [12, 13]:

$$\frac{dC(t)}{dt} = \frac{1}{\tau} C_a(t) - C_{вн}(t), \quad (4)$$

где τ — время газообмена в помещении;

$C(t)$ — концентрация взрывоопасных газов в момент времени t ;

$C_a(t)$ — концентрация взрывоопасной смеси в зоне аэрации в момент времени t ;

$C_{вн}(t)$ — концентрация взрывоопасной смеси в помещении в момент времени t .

Решая уравнение (4) при начальных условиях $C_{вн}(t) = 0$, $C_a(t) = C_a = \text{const}$, при $t \rightarrow \infty$, получим:

$$C_a(t) = C_{вн}(t) \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right]. \quad (5)$$

Если концентрация взрывоопасной смеси в зоне аэрации в норме, а взрывоопасная концентрация меньше нижнего предела, то максимальная концентрация в помещении

$$C_{вн}^{\max} = \frac{m_z}{2\pi^2\tau} \frac{1}{(a_x, a_z)}, \quad (6)$$

где m_z — масса выделяющегося взрывоопасного газа;

a_x, a_z — коэффициент соответственно поперечной и вертикальной дисперсии.

Общий объем взрывоопасной смеси рассчитывался по формуле

$$V_{взр} = \frac{100V_z K_\delta}{C_{НПВ}(t)Z_n}, \quad (7)$$

где V_z — общий объем выделившихся взрывоопасных газов;

K_δ — коэффициент безопасности;

$C_{НПВ}(t)$ — нижний предел воспламенения газов при температуре t ;

Z_n — коэффициент, учитывающий неравномерность распределения горючих газов в объеме взрывоопасной смеси.

Категорирование помещений объекта по взрыво- и пожароопасности газовых смесей проводилось по формуле [14]:

$$B = \frac{V_{взр}}{V_{св}} \cdot 100\%, \quad (8)$$

где B — степень заполнения свободного объема;

$V_{св}$ — свободный объем помещения, равный 70–80% геометрично.

Категорирование проводилось с учетом скорости образования взрывоопасной смеси, объема помещения и расхода воздуха на “сдувку”; определялась кратность обмена воздуха в каждом исследуемом помещении объекта “Укрытие” [7, 14].

С другой стороны, по экспертным оценкам специалистов, в помещениях объекта накопилось более 10 т радиоактивной пыли (взвешенные и осевшие частицы топливной и графитовой пыли) [8].

Натурные исследования доступных помещений показали, что радиоактивная пыль находится:

- в шахте бывшего реактора и подреакторном помещении (504/2, 305/2);

- в помещениях южных и северных барабан-сепараторов и на крыше деаэрационной этажерки;
- в помещениях вдоль западной стены.

Радиоактивные частицы классифицированы следующим образом [6, 7]:

1. Частицы топливной матрицы (топливные “горячие частицы”), объединенные летучими радионуклидами (цезий, рутений и др.):

- а) крупные: размер 10–30 мкм; плотность $10,0 \pm 0,8 \text{ т/см}^3$;
- б) средние: размер 5–10 мкм;
- в) мелкие: размер 1–5 мкм (продукты сгорания графита, окисления топлива, ТСМ и др.).

2. Частицы, радиоактивность которых обусловлена адсорбцией осколочных радионуклидов.

3. Частицы строительного мусора.

Проведенный анализ физико-химических процессов показал [2–4], что основной причиной образования радиоактивной пыли являются деградация и разрушение ТСМ, графита и полимерных материалов.

Механизмом пылегенерации могут быть [14, 17]:

- электрические поля, возникающие в среде с инкорпорированными радионуклидами;
- дефектообразование (радиационное разрушение нейтронов при облучении);

Категорирование помещений объекта “Укрытие” по взрыво- и пожароопасности

Высотная отметка	Номер помещения	Пожароопасность		Взрывоопасность	
		Да	Нет	Да	Нет
–0,65 +2,20	012/6	+		+	
	012/7	+		+	
	012/8		+		+
	012/9	+			+
+2,20 +6,00	012/13	+		+	
	012/14		+		+
	012/15	+		+	
	012/16		+		+
+6,00 +8,00	210/5	+	+	+	
	210/6	+	+		+
	210/7	+	+		+
+6,00 +9,00	217/2	+			+
	303/3	+			+
+8,00 +11,00	305/2	+		+	
+9,20 +12,50	304/3	+		+	
+14,00 +32,00	504/2	+			+
	504/3	+			+
	504/4	+			+
+35,50 –62,00	914/2	+		+	

- механические напряжения при охлаждении ТСМ;
- процессы радиолитиза воды и паров, воды в порах ТСМ и накопление зарядов у поверхности материала;
- атмосферные влияния (замораживание, испарение, коррозия и др.).

Экспериментально были определены параметры взрыво- и пожароопасности радиоактивной пыли [8]:

- для взвешенной пыли: нижний концентрационный предел воспламенения 29–32 г/м³, температура воспламенения 973–1073 К;
- для осевшей пыли: температура воспламенения 433–503 К, температура самовоспламенения 823–893 К.

На условия возникновения взрыва радиоактивной пыли оказывают влияние [18]:

- химические свойства радиоактивной пыли;
- размер частиц;
- влажность;
- количество кислорода в смеси;
- способ смешивания пылевых радиоактивных частиц с воздухом (турбулентность);
- выход летучих веществ из радиоактивной пыли;

- свойства источника зажигания (пламя, искра, нагретая поверхность);
- наличие окислителя в составе атмосферы.

В таблице представлена экспертная (консервативная) оценка взрыво- и пожароопасности некоторых доступных помещений объекта “Укрытие” [3–6, 15].

Выводы

1. Проведен анализ состояния взрывопожарной обстановки в помещениях объекта “Укрытие”. Показано, что пожарную нагрузку в анализируемых помещениях можно классифицировать следующим образом: первичные (пластикат, изоляция кабеля, реакторный графит и др.) и вторичные (газообразные продукты радиолитиза воды и полимерных материалов, взвешенная и осевшая пыль и др.) горючие материалы

2. Результаты анализа позволили установить уровень пожарной опасности, источник и пути развития пожара для оценки риска возникновения радиационной аварии и ее радиоэкологических последствий, а также создать базу данных по определению пожарной нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Азаров С. И. Величины и оценка критериев и факторов, определяющих статус объекта “Укрытие” по пожарной безопасности // Тез. докладов V Международной науч.-техн. конф. “Итоги 10 лет работ по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС”. — Зеленый Мыс, 1996. — С. 140–141.
2. Азаров С. И., Бабич Е. В., Бачинский В. С. Анализ пожарной опасности объекта “Укрытие” // Наукові та технічні аспекти Міжнародного співробітництва в Чорнобилі: Зб. наук. статей. — Славутич: Укратомвидав, 2000. — С. 409–417.
3. Азаров С. И., Назаренко Б. С. Статус объекта “Укрытие” по взрыво- и пожароопасности // Матеріали III наук.-практ. конф. “Пожежна безпека”. — Київ, 1997. — С. 141–142.
4. Азаров С. И., Токаревский В. В. Пожежна безпека об’єкта “Укриття” — минуле, дійсність та майбутнє // Тез. доп. “Проблеми пожежної безпеки”. — Київ: МВС України, 1995. — С. 102.
5. Азаров С. И., Токаревский В. В. Проблемы пожарной опасности объекта “Укрытие” // Тез. доп. “Чорнобильська аварія, її наслідки та проблеми їх подолання”. — Київ, 1994. — С. 89.
6. Азаров С. И., Токаревский В. В. Пожаровзрывоопасность объекта “Укрытие” // Тез. докл. XIII Всероссийской науч.-практ. конф. “Пожарная безопасность–95”. — М., 1995. — С. 43.
7. Бабич Е. В., Азаров С. И. Возможные варианты утилизации отработанного реакторного графита при выводе энергоблоков ЧАЭС из эксплуатации // Наукові та технічні аспекти Міжнародного співробітництва в Чорнобилі. Вип. 3. — Київ: Вища школа, 2001. — С. 219–231.
8. Azarov S. I., Tokarevsky V. V. Fire alarm, examining the Chernobyl Sarcophagus // Nuclear engineering international. 1995. V. 40. №491. P. 38–39.
9. Азаров С. И. Анализ поражающих факторов при пожарах в объекте “Укрытие” // Атомная энергия. 2001. Т. 90. Вып. 4. С. 296–304.
10. Азаров С. И., Токаревский В. В. Прогноз радиационной обстановки при пожаре на объекте “Укрытие” // Весці нац. акад. навук Беларусі: “Фізіко-тэхнічных навук”. 1999. № 1. С. 137–141.
11. Азаров С. И., Бабич Е. В. Моделирование развития пожара на объекте “Укрытие” // Матеріали наук.-практ. конф. “Пожежна безпека”. Ч. 1. — Черкаси, 1999. — С. 156–158.

12. Азаров С. И. Дослідження форм механізмів утворення та розповсюдження радіонуклідів в навколишньому середовищі при аваріях на об'єкті "Укриття" // Тез. доповідей наук. конф. "IX років після Чорнобильської аварії". — Київ, 1995. — С. 4.
13. Азаров С. И., Токаревский В. В. Оценка радиационной обстановки при пожаре объекте "Укрытие" // Атомная энергия. 1997. Т. 82. Вып. 3. С. 235–237.
14. Азаров С. И., Бабич Е. В., Бачинский В. С. Анализ пожарной опасности объекта "Укрытие" // Наукові та технічні аспекти Міжнародного співробітництва в Чорнобилі. — Славутич: Укратом-видав, 2000. — С. 409–417.
15. Radiolysis of water in "Sarcophagus" / Azarov S. I., Vilenska L. M., Korchevna O. V. — Kiev, 1998. — 23 p.
16. Азаров С. И. Анализ опасных и вредных факторов при пожаре на разрушенном IV энергоблоке ЧАЭС // Ядерная и радиационная безопасность. Т. 4. Вып. 4. 2001. С. 58 – 63.
17. Бабич Е. В., Азаров С. И. Определение радиационного газовойделения из полимерных материалов, находящихся в объекте "Укрытие" // 36. наук. пр. Інституту ядерних досліджень України. №2(4). — Київ, 2001. — С. 101–106.
18. Бесчастнов М. В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение. — М.: Химия, 1991. — 431 с.

Поступила в редакцию 08.12.03.



ЗАО «АРТСОК»

Системы газового пожаротушения

Россия, 119619, г. Москва
ул. Производственная, 6
Тел./факс: 435-77-66
435-26-74, 435-39-23
E-mail: artsok@artsok.com
artsok@centro.ru
[Http: www.artsok.com](http://www.artsok.com)

Деятельность лицензирована



1. Модули МГП 16, МГП 35 и МГП 50, емкостью от 25 до 100 литров, для хранения и выпуска огнетушащих составов: хладона 125, хладона 23, хладона 318ц (ИГМЕР), хладона 227еа, углекислоты (CO₂), азота (N₂), аргона (Ar), их смеси и другие. Модули имеют электрический (в том числе и во взрывобезопасном исполнении «1 Exse IIТ6»), пневматический и местный пуск.
2. Модули изотермические для жидкой двуокиси углерода (МИЖУ), емкостью резервуаров от 3 до 25 куб. м. для защиты помещений от 800 до 15000 куб. м. Выпуск CO₂ дозированный по времени или по массе. Рабочий диапазон температуры от минус 40° до плюс 50°С.
3. Насадки для установок газового пожаротушения.
4. Распределительные устройства РУ-А-25, РУ-А-32, РУ-А-50, РУ-А-80, РУ-А-100, РУ-А-150, РУ-А-200.
5. Дымососы для удаления газодымовоздушной среды после ликвидации пожара.

Гарантийный срок эксплуатации оборудования – 36 месяцев.

Сертификат соответствия ГОСТ Р ИСО 9001-96.
Международный сертификат системы качества ISO 9001:1994 № 00.062.026.
Модули МГП и МИЖУ награждены золотыми знаками качества "Российская марка".