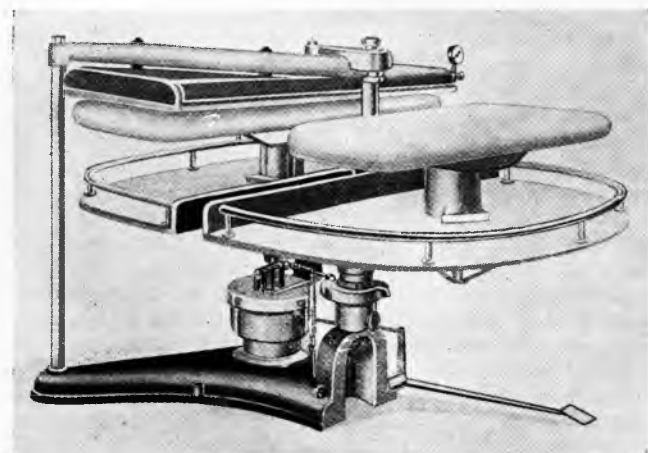


njanje nečistoće i spriječiti ponovno taloženje nečistoće na rubi. Predmeti koje treba čistiti sortiraju se i markiraju s pomoću prišivenih oznaka ili metalnih kopči, slično kao i u praonicama rublja. U odjelu za pranje u otapalu izvršava se najveći dio čišćenja tako da se predmeti ne skvrče i zgužvaju ili da se boje ne bi razlijevale. Ako predmeti ovdje nisu dovoljno očišćeni, veoma je otežano naknadno detaširanje, pa veći broj predmeta treba naknadno čistiti u vodenim otopinama. Mokro je čišćenje dodatna i skupa operacija, a mokro očišćeni predmeti zahtijevaju više pažnje i vremena pri glačanju. Za detaširanje upotrebljavaju se sredstva za rastapanje boja i lakova i sredstva koja djeluju kao detergentsi. To su emulzije tipa voda-u-ulju ili smjese u kojima je voda rastopljena u organskom otapalu. Otapala za čišćenje ne smiju uzrokovati da se boje razlijevaju niti da se predmeti gužvaju ili kvrče. Moraju biti dovoljno hlapljiva da očišćeni predmeti ne zadrže miris po otapalu i da bi se mogla čistiti destilacijom. Otapalo ne smije korodirati metalne dijelove i mora biti otporno prema hidrolizi, da i male količine vode ne bi uzrokovale koroziju. Najčešće se kao otapalo upotrebljava »benzin za čišćenje« koji mora odgovarati propisanim uvjetima u pogledu kiseline, mirisa, plamišta, vrelišta, čistoće i sastava (destilacione probe). Klorirani ugljikovodici se također mnogo upotrebljavaju jer nisu zapaljivi, a jednako dobro čiste kao i benzin. Upotrebljavaju se: tetraklormetan, trikloretilen i perkloretilen (tetrakloretilen). Ovaj posljednji je najstabilniji prema hidrolizi i ima najniži napon para pa je zbog toga i ekonomičan. Detergentsi koji se dodaju u otapala su različiti sapuni ili sindeti i obično se dodaju u prisustvu vrlo male količine vode.

Uređaj za čišćenje u industrijskim čistionicama sličan je stroju za pranje vodom, a sadrži još i uređaj za filtraciju otapala od čvrstih nečistoća i od pomoćnog sredstva za filtraciju (filter-aid). Upotrebljavaju se dvije vrste takvih sredstava, od kojih jedna samo potpomažu filtraciju sluzavih tvari (diatomska zemlja), a druga i adsorbiraju nečistoće. Nakon obrade u otapalu, koja traje 10...30 minuta, roba se izapire čistim otapalom 20...30 minuta, ostavi u bubnju da se ocijedi i zatim centrifugira, ili u posebnoj centrifugi ili i u samom bubnju, pa se suši. Sušiti se može ili u samom bubnju duhanjem toplom uzduha ili u posebnim okretnim sušionicama (tumbler) ili u komorama (za osjetljive tkanine).

Onečišćeno otapalo čisti se ili destilacijom, ili adsorpcijom ili, rjeđe, kemijskim putem s pomoću otopine natrijeve lužine.

Osušeni predmeti detaširaju se s pomoću vode ili otopine detergentsa ili posebnih reagenata. Po potrebi čiste se i mokro, tj. peru se ili na ravnim stolovima s pomoću četke i sl. ili u bubnjima za pranje sa mnogo tekućine i s visokom koncentracijom detergentsa, da se smanji opasnost mehaničkog kvara. Očišćeni i osušeni predmeti glačaju se na strojevima za glačanje (sl. 14).



Sl. 14. Preša za glačanje odjeće

Izjesne vrste odjeće obrađuju se i specijalnim apreturama; npr. kišne kabanice impregniraju se vodoodbojnim sredstvima a vunena se odjeća obrađuje sredstvima za zaštitu od moljaca.

LIT.: J. T. Marsh, An introduction to textile bleaching, London 1948. — W. Kind, H. A. Kind, Die Wäscherei, Stuttgart 1949. — V. Felix, Chemická technologie textilní, III kn., Praha 1953. — L. Teichmann, Chemische Technologie des Bleichens, Berlin 1954. — K. Ward, ed., Chemistry and chemical technology of cotton, New York 1955. — Ф. И. Садов, М. В. Корчагин, А. И. Матвейкий, Химическая технология волоконных материалов, Москва 1956. — G. Melzer, Handbuch für die textile Naßveredlung, Berlin 1956. — A. R. Martin, G. F. Fulton, Drycleaning, New York 1958. — Autorenkollektiv, Textilreinigung, Leipzig 1962.

M. Žerđik

BIOLOŠKI ŠTIT, u nuklearnoj tehnici pregrade i obloge koje se postavljaju na put jonizujućim zračenjima u cilju smanjivanja njihova intenziteta i obezbeđivanja biološke zaštite osoba koje su izložene zračenju. Jonizujuća zračenja emitovana iz izvora deluju na živi organizam izazivajući u tkivu jonizacione procese koji se nastavljaju hemijskim reakcijama stvorenih slobodnih radikala. Posledica je oštećenje pojedinih organa ili organizma u celini. Intenzitet oštećenja je srazmeran ukupnoj energiji koju zračenje jonizacionim procesima predaje materiji, tj. apsorbovanoj dozi zračenja. S obzirom na različitu prirodu, energiju i biološku efikasnost pojedinih vrsta zračenja, i biološki štiti može da se shvati veoma široko. Njegovu ulogu vrši svaka materija stavljena na put jonizujućim zračenjima u cilju smanjivanja njihova intenziteta. Kod jakih i kompleksnih izvora, kakva su nuklearna energetska postrojenja, biološki štiti predstavlja komplikovan skup zaklona, obloga i zaštitnih zidova projektovanih oko onih delova postrojenja koji emituju jonizujuća zračenja. On se tako uklapa u samo postrojenje i čini sa njim jednu celinu.

Jonizujuća zračenja za koja se obično projektuje biološki štiti dele se po svojoj prirodi na korpuskularna i elektromagnetna. Korpuskularna mogu imati korpuskule različite mase i one mogu biti naelektrisane ili neutralne. Svaka čestica može imati različit sadržaj kinetičke energije. Elektromagnetna zračenja razlikuju se isključivo svojom talasnom dužinom, tj. sadržajem energije. Ponašanje zračenja pri prolazu kroz materiju uslovljava izradu biološkog štita. Opšte zakonitosti apsorpcije i stvaranje jonizacionih efekata zavisni su od naboja, mase i energije svakog pojedinog zračenja. Nemoguće je izvući opšte zakone za sve vrste zračenja, već se svako pojedino mora posebno razmatrati.

Teške naelektrisane čestice, kao što su alfa-zraci, protoni itd., imaju znatnu moć jonizacije i malu prodornost. Pri prolazu kroz biološko tkivo, zbog velike gustine jonizacije, one imaju za istu predatu energiju 10...20 puta veću biološku efikasnost od elektrona. Prodornost ovih čestica izražava se obično dometom u vazduhu. Za energije alfa-čestica od 1...10 MeV ona ne prelazi 10 cm. Teške naelektrisane čestice ne predstavljaju problem sa gledišta zaštite i najčešće ne zahtevaju biološki štiti.

Lake naelektrisane čestice, beta-zraci ili elektroni, do energije oko 1 MeV gube energiju u jonizacionim procesima. Specifična jonizacija je mala, tako da im je domet veći nego teških čestica. Kao opšta zakonitost vredi eksponencijalno slabljenje intenziteta pri prolazu kroz materiju, uz određenu vrednost za maksimalni domet. Apsorpciona moć neke materije je proporcionalna gustini elektrona, tj. ravna NZ , gde je N broj atoma po cm^3 materije, a Z redni broj elementa. Elektroni viših energija gube energiju emisijom elektromagnetnog zračenja. Zakočno zračenje slično je po poreklu i prirodni rendgenskom. Nastaje usporavanjem elektrona u električnom polju jezgra. Gubitak energije elektrona za stvaranje zakočnog zračenja proporcionalan je energiji beta-čestica i kvadratu rednog broja elementa, Z^2 . Pojava zakočnog zračenja stvara dodatne probleme u projektovanju štita od beta-zraka, jer mu je prodorna moć daleko veća od prodorne moći niskoenergetskih beta-zrakova.

Elektromagnetno zračenje, gama-zraci i rendgenski ili X-zraci, reaguju sa materijom predajući svoju energiju elektronima, koje izbacuju iz njihovog normalnog položaja u strukturi atoma. Izbijeni elektron može samostalno da vrši dalje jonizacione procese. S obzirom na malu verovatnoću sudara s elektronom, prodornost gama-zraka kroz materiju je vrlo velika. Postoji nekoliko elementarnih apsorpcionih procesa elektromagnetnog zračenja. Najčešće se sreću: *fotoelektrični efekat*, *Comptonov efekat* i *stvaranje parova*.

a) Fotoelektrični efekat se dešava kada niskoenergetski gama-kvant preda celokupnu svoju energiju elektronu. Ova energija se troši na izbacivanje elektrona iz njegove putanje u atomu, a višak se pojavljuje kao njegova kinetička energija. Za energije gama-

-zrakova iznad energetske vrednosti K -linije u spektru X -zraka, verovatnoća apsorpcije oštro opada kao E^{-3} za $E < 0,5$ MeV, a kao E^{-1} za $E > 0,5$ MeV. Za različite elemente verovatnoća je grubo proporcionalna sa Z^8 . Zbog toga je fotoelektrični efekat važan apsorpcioni proces za teške elemente. Kako se u procesu apsorpcije pojavljuje samo elektron koji se dalje lako apsorbuje, fotoelektrični efekat je idealan sa gledišta biološkog štita, jer u potpunosti uklanja gama-kvant iz upadnog snopa.

b) Comptonov efekat predstavlja elastičan sudar fotona i elektrona. U sudaru foton gubi deo energije, koja se pojavljuje kao kinetička energija elektrona. Raspodela ukupne energije zavisi od ugla rasejavanja. Ovaj proces apsorpcije je predominantan za elemente iz sredine periodnog sistema za oblast energija od 0,1 do 15 MeV, a za teške elemente od 1 do 5 MeV. Comptonov efekat u potpunosti zavisi od broja prisutnih elektrona, tako da je verovatnoća apsorpcije proporcionalna NZ , odn. gustini apsorbera.

c) Stvaranje parova kao apsorpcioni proces gama-zraka nastupa kad je energija veća od 1,02 MeV. U kulonskom polju jezgara, rede i pojedinih elektrona, dolazi do potpunog pretvaranja gama-kvanta u par pozitron-elektron. Kako je energetski ekvivalent mase elektronskog para 1,02 MeV, proces je moguć tek uz energiju veću od ove. Eventualni višak energije fotona javlja se kao kinetička energija elektronskog para. Verovatnoća procesa je proporcionalna sa $Z^2 + 2$ apsorbujuće materije, a u odnosu na energiju raste kao $\log E$. Pozitron u anihilacionom procesu redovno daje dva nova fotona 0,5 MeV. S obzirom na znatno manju energiju ovoga zračenja i izotropnost njegove emisije, pri projektovanju biološkog štita može se stvaranje parova smatrati kao pravi apsorpcioni proces.

Ukupna verovatnoća apsorpcije gama-zraka u materijalu biće zbir verovatnoća za svaki pojedini apsorpcioni proces. Ona zavisi od energije i može se izraziti u uobičajenim veličinama nuklearne fizike kao što su efektivni preseki σ po jednom elektronu ili Σ po cm^3 za svaki apsorpcioni proces, ili još češće ukupnim koeficijentom apsorpcije koji je zbir makroskopskih efektivnih preseka za pojedine elementarne procese:

$$\mu = \Sigma_{\text{foto}} + \Sigma_{\text{comp}} + \Sigma_{\text{par}}$$

Maseni koeficijent apsorpcije se definiše kao koeficijent apsorpcije po jedinici gustine, tj. μ/ρ .

Budući da je za Comptonov proces Σ_{comp} proporcionalno broju elektrona, a Z/A je približno konstantno za sve elemente, maseni koeficijent apsorpcije će biti približno konstantan za sve materije u oblasti energija fotona, gde ovaj proces dominira. Za niže i više energije pojavljuju se znatna odstupanja od ovog grubog pravila.

Da bi se izrazilo slabljenje paralelnog snopa gama-zraka pri prolazu kroz apsorber, primenjujući opšte zakone verovatnoće dobija se eksponencijalni zakon:

$$I = I_0 \exp[-(\Sigma_f + \Sigma_c + \Sigma_p)] = I_0 \exp(-\mu x) = I_0 \exp(-\mu/\rho \cdot \rho x),$$

gde je Σ makroskopski efektivni presek za pojedine apsorpcione procese, μ ukupni koeficijent apsorpcije, a μ/ρ maseni koeficijent apsorpcije. Debljina apsorbera je označena sa x . Za štit izrađen u nekoliko slojeva različitog materijala određuje se koeficijent apsorpcije za svaki sloj. Ukupna apsorpcija je zbir apsorpcija za pojedine slojeve:

$$I = I_0 \exp\left(-\sum_1^n \mu_i x_i\right).$$

Tretiranje apsorpcije gama-zraka preko elementarnih procesa dovodi do znatnih grešaka, jer se u tome slučaju ne uzima u obzir rasuto zračenje nižih energija nastalo posle primarnog Comptonovog procesa. Ovo zračenje difunduje kroz štit, delimično se apsorbuje, ali izlazi i van štita i povećava ukupnu dozu propuštenog zračenja. Stoga se rezultati dobiveni primenom elementarnih zakona apsorpcije množe sa tzv. *build-up* - faktorom, tj. faktorom nagomilavanja, kojim se ta greška popravja. Usled matematičkih teškoća retko se može tačno odrediti veličina ove popravke, pa se obično primenjuju poluempirijski obrasci ili eksperimentalne vrednosti.

Neutroni su isključivo proizvod nuklearnih reakcija, a prvom redu fisije, i obično se ne javljaju pri radioaktivnom raspadu.

Većina izvora daje neutrone kinetičke energije od 0,5 do 15 MeV. Ovakvi neutroni se obično nazivaju brzim. Prolaskom kroz materiju neutron se sudara sa prisutnim atomskim jezgrima. U ovim sudarima on može biti apsorbovan jezgrom ili rasejan uz gubitak energije po zakonima sudara. Brzi neutroni se pri rasejanju na atomskim jezgrima po pravilu usporavaju. Usporavanje je naročito izrazito u materijalu sastavljenom od elemenata male atomske težine. Usporavanjem neutron dolazi u energetsku ravnotežu sa okolinom kroz koju se kreće. Daljim kretanjem srednja se energija neutrona ne menja te se neutron na kraju apsorbuje. Verovatnoća apsorpcije usporenog neutrona znatno zavisi od materijala. Prostiranje sporih neutrona bazira na zakonima difuzije. U osnovi matematičkog interpretiranja leži eksponencijalni zakon slabljenja snopa pri prolazu kroz materiju. Koeficijent apsorpcije je isključivo funkcija hemijskog sastava apsorbera i njegove temperature. Interpretiranje usporavanja i difuzije neutrona uz apsorpciju matematički je komplikovano, pa se za projektovanje štita obično primenjuju aproksimacije. Za većinu lakih elemenata korisna je primena eksponencijalnih zakona slabljenja snopa i za brze neutrone. Koeficijent apsorpcije predstavlja ukupnu verovatnoću da brzi neutron u sloju apsorbera doživi sudar. Ovim se a priori smatra da će svaki sudar ukloniti neutron iz snopa bilo direktno apsorpcijom bilo time što će u sudaru izgubiti energiju i time znatno povećati verovatnoću da u sledećem sudaru bude apsorbovan. Biološka efikasnost neutrona znatno zavisi od njegove energije. Pri tome brzi neutron može imati i 10 puta veću efikasnost od termalnog. Stoga brzi neutroni predstavljaju osnovnu opasnost sa gledišta zaštite, pa se i biološki štit u prvom redu projektuje zbog njih.

Projektovanje biološkog štita. Osnovni zahtev da štit obezbedi zaštitu od jonizujućih zračenja uslovljava način prilaznja zadatku projektovanja. Činjenica je da se zračenje iz nekoga izvora nikada ne mora u potpunosti apsorbovati; dopuštene doze i eksploataciona namena objekta utvrđuju do koje je mere potrebno smanjiti intenzitet zračenja. Projektovanje biološkog štita polazi stoga od početnog i dopuštenog intenziteta zračenja u okolini izvora. Neće biti ni potrebno da se postavlja biološki štit svakome izvoru, ukoliko mu je intenzitet zračenja mali. Prvi zadatak je stoga utvrđivanje karakteristika zračenja. Podaci o ovome obuhvataju vrstu, intenzitet i energiju svakog pojedinog zračenja. Često je nemoguće utvrditi sve ove podatke; u tom slučaju neophodno je poznavati najprodornije komponente, tj. one koje najviše doprinose dozi zračenja iza štita. Ponekad je dovoljno projektovati zaštitu samo za najtvrdju komponentu. Mekše komponente će tom prilikom biti apsorbovane u znatno višem stepenu i ne moraju znatno doprinostiti ukupnoj dozi. Mada je često nemoguće izvršiti proračun sa zadovoljavajućom tačnošću, faktor sigurnosti koji se redovno primenjuje obezbeđuje sigurnu zaštitu. Osnovni faktori kojima se postiže slabljenje intenziteta su faktori geometrije i apsorpcije.

Geometrija obezbeđuje slabljenje intenziteta s obzirom na konačne dimenzije izvora i pravolinijsko prostiranje zračenja. Kako se zračenje emituje iz izvora izotropno, udaljavanjem od izvora dobija se manji protok čestica, a time i slabiji intenzitet i doza koji su mu proporcionalni. U slučaju tačkastog izvora intenzitet opada sa kvadratom udaljenosti. Drugi oblici izvora mogu dati komplikovanije matematičke izraze slabljenja i posebno se određuju za svaki slučaj.

Atenuacija, tj. ukupno slabljenje zračenja kroz štit, produkt je geometrijskih uticaja i apsorpcije. Faktor atenuacije je osnovni matematički izraz koji izražava ovo slabljenje. Za sve vrste zračenja može se uzeti da matematički izraz za apsorpciju ima eksponencijalnu formu. Ukupni faktor atenuacije može se stoga predstaviti kao proizvod jednog eksponencijalnog člana, koji interpretira elementarne procese apsorpcije, i drugog, geometrijskog, koji daje slabljenje fluksa sa udaljenošću od izvora. *Build-up* - faktor za gama-zračenje figuriše kao faktor popravke na atenuaciju radi uprošćenog predstavljanja procesa apsorpcije. Komplikovanost matematičkog izraza često stvara teškoće za eksplicitno izražavanje debljine štita, koje je krajnji cilj proračuna. Stoga se proračun debljine svodi na proveru zračenja za usvojenu vrednost i podešavanje debljine za potrebnu atenuaciju.

Materijali za izradu štita. S obzirom na pasivnu ulogu štita na nuklearnim uređajima i postrojenjima, izvor materijala za nje-

govu izradu nije predodređen samom tehnološkom namenom postrojenja, već se bira na osnovu drugih faktora, kao što su: raspoloživi prostor, ekonomski momenti itd. Za štít protiv gama-zračenja, koje je najčešće u nuklearnoj tehnici, pod uslovima iste geometrije ne postoji veća razlika u težini štita od različitih materijala. Zbog toga se, gde god je to moguće, primenjuju materijali koji neposredno stoje na raspoloženju, a uz to su jevtini i lako obradljivi. U većini slučajeva postavljaju se dodatni zahtevi za čvrstinom, otpornošću prema dejstvu zračenja, nezapaljivošću i netoksičnošću materijala. Prema karakteristikama apsorpcionih procesa postojeće znatne razlike u osobinama materijala za atenuaciju neutrona i gama-zraka. Gama-zraci se najlakše zaustavljaju materijalima velike gustine. Prema tome su najbolji zaštitni materijali: olovo, železo itd. Neutrone najlakše zaustavljaju elementi male atomske težine, jer ih najlakše usporavaju. Stoga se za neutronske štít primenjuju materijali sa velikim sadržajem vodonika, kao što su voda i organske materije. Ukoliko se ne mogu primeniti tečnosti, upotrebljavaju se plastične materije, parafin ili drvo. Dodatak bora ili bornih jedinjenja povećava apsorpcione osobine za termalne neutrone. Za mešano gama-zračenje i neutronske zračenje nuklearnih reaktora materijal treba da zadovolji oba zahteva. Beton može da tome delimično odgovara. Dosta visok sadržaj vode, do 10%, i prisustvo lakih elemenata obezbeđuju dobre usporavajuće osobine za neutrone. ApSORPCija gama-zraka je dosta slaba s obzirom na malu gustinu normalnih betona, 2,3 do 2,5 t/m³. Stoga se, u cilju povećavanja gustine a time i sposobnosti apSORPCije gama-zraka, često primenjuju tzv. teški betoni, čija se gustina penje na preko 4 t/m³. Povećavanje gustine se postiže specijalnim teškim puniocima; najčešće se upotrebljava barit za dobijanje gustine do ~ 3,5 t/m³, a za veće gustine, železne rude ili komadići železa i železne strugotine. Ovakvi betoni najčešće zadovoljavaju zahteve za uspešnom atenuacijom kako gama-zraka tako i neutrona. U specijalnim uslovima mogu se za biološki štít primeniti i nestandardne materije. Tako se za slučaj potrebe providnog štita mogu upotrebiti teška olovna stakla, čija se gustina penje na preko 6 g/cm³.

Najčešće primenljivi materijali za izradu biološkog štita sa osnovnim karakteristikama važnim za zaštitu dati su u tabeli 1.

Tabela 1

KARAKTERISTIKE MATERIJALA ZA IZRADU BIOLOŠKOG ŠTITA

Materijali	Gustina	Koeficijenti apsorpcije μ (5MeVgama) cm ⁻¹	Koeficijenti apsorpcije Σ_T za brze neutrone cm ⁻¹	Cena u odnosu na normalni beton po jedinici težine
Voda	1,00	0,0303	0,097	0,002
Betoni*				
normalni	2,48	0,0715	0,084	1,00
sa limonitom	2,71	0,0817	0,104	1,15
sa baritom	3,02	0,0952	0,088	2,10
sa hematitom	3,32	0,0999	0,105	1,94
sa galenitom	4,23	0,1627	0,084	7,21
sa železnim komadima	4,42	0,1377	0,130	1,28
Borni čelik	7,70	0,2410	0,205	12,40
Čelične ploče	7,80	0,2440	0,208	12,10
Olovo	11,30	0,4860	0,104	12,60

* Sastav betona, cement : pesak : šljunak = 1 : 2 : 4

Štít za pokretne izvore beta- i gama-zračenja projektuje se kao zaklon ili obloga oko uređaja u kojima se rukuje izvorima zračenja, najčešće radioaktivnim materijalom kao što su radioaktivni izotopi, ili kao kontejneri, posude u kojima se transportuje radioaktivni materijal. Rad sa radioaktivnim materijalom zahteva postavljanje biološkog štita uz obezbeđivanje manipulacije. U tome cilju štít može biti improvizovan postavljanjem montažnog zida od bilo kog zaštitnog materijala između izvora i rukovaoca. Debljinu zida uslovljava jačina izvora i vrsta zračenja. Zid izrađen od betonskih ili olovnih cigala različite debljine najčešće se primenjuje kao improvizovan štít. Stalni objekti posebno izrađeni za rad sa izvorima zračenja imaju takođe ulogu biološkog štita. Kutije za rad sa izvorima alfa-i beta-zračenja imaju prema operatoru pojačan zid koji potpuno zaustavlja beta-zračenje. Posmatranje se vrši kroz staklo koje takođe zadržava beta-zrake. Stalni objekti za rad sa izvorima gama-zračenja redovno se projektuju za određenu

jačinu izvora. Ovakvi objekti, opšte nazvani vruće komore, obično predstavljaju platformu za rad sa izvorom zračenja okruženu biološkim štítom. Opšte primenljivi zaštitni materijal je beton, običan i teški, zatim železo i olovo. Posmatranje i upravljanje procesom se vrši kroz okna za posmatranje, koja takođe vrše ulogu štita. Radi toga su izrađena od teškog olovnog stakla.

Sudovi u kojima se transportuju ili čuvaju izvori zračenja moraju zadovoljiti i kao biološki štít. Dimenzionisanje je uslovljeno postojećim transportnim normama, jačinom izvora i dopuštenom dozom. Ograničenost prostora pri transportu i lakše manipulisanje predodređuju olovo kao glavni zaštitni materijal. Upotreba betona i železa je moguća ali reda i najčešće je ograničena na izradu stacionarnih sudova za čuvanje izvora.

Biološki štít nuklearnih reaktora. Potencijalni izvor gama-zračenja i neutrona je nuklearni reaktor u radu. Zaustavljen, on emituje u prvom redu gama-zračenje. Osnovni izvor je jezgro reaktora gde se odvija lančana reakcija, kao i primarno kolo rashlađivača. Izvor su zračenja sam proces fisije jezgra atoma i produkti fisije. Rashladni medijum se prolaskom kroz jezgro reaktora aktivira dejstvom neutrona. Tip reaktora, njegova snaga i namena uslovljavaju tip biološkog štita i izbor konstruktivnog materijala. Kako je štít sastavni deo konstrukcije reaktora, to se i projekat zaštite uklapa u celokupan reaktorski projekat. Proračun štita polazi od intenziteta najprodornijih komponenata zračenja, tj. brzih neutrona i visokoenergetskih gama-zraka. Ukupna debljina se dimenzioniše u zavisnosti od namene objekta. Tako istraživačke mašine, pored potrebe za zaštitom personala, moraju obezbediti što niži fon zračenja, kako bi tačnost merenja istraživačkim instrumentima bila što bolja. S obzirom na to da fon određuje rasuto zračenje iz otvora na reaktoru, nema potrebe da se štít projektuje za veću atenuaciju. Pogonska postrojenja, nuklearne elektrane itd. ne zahtevaju smanjivanje intenziteta veću od dopuštenih normi za određeno vreme boravka u blizini izvora. Kako energetska postrojenja ne zahtevaju stalno bavljenje u blizini izvora, projektovanje štita se obično izvodi tako da obezbedi pristup oko reaktora samo kada ovaj radi na smanjenoj snazi ili je potpuno zaustavljen.

Ukupan štít koji obuhvata instalacije nuklearnih postrojenja može se po nameni razdvojiti na nekoliko delova. Znatna snaga nuklearnih reaktora, a time i velika apsolutna vrednost energije koja se emituje u obliku zračenja, komplikuje probleme zaštite naročito u pogledu izbora materijala. ApSORBOVANO zračenje se u štítu pretvara u toplotu, usled čega se ovaj greje. Zbog eksponencijalnog zakona apSORPCije, generacija toplote je veća u slojevima štita bliže izvoru. Neravnomernost generacije toplote stvara mehanička naprezanja u materijalu. Beton, inače najpogodniji materijal za štít, ne može izdržati znatnija naprezanja i puca. Ovo se najčešće događa čim gradijent temperature kroz štít bude veći od 30--50°C. Zbog toga se količina energije apSORBOVANA u biološkom štítu ograničava: 2 · 10¹¹ MeV/cm² sek predstavlja graničnu vrednost za fluks energije na površini biološkog štita izrađenog od građevinskih betona. S obzirom na dopuštene doze zračenja van štita, faktor slabljenja intenziteta kroz sloj zaštite ne mora biti veći od 10⁸, što zahteva da štít, nezavisno od materijala, ima približno 700 g/cm² površine reaktora. Kako reaktor visoke snage ima fluks zračenja koji izlazi iz reaktora znatno veći od 2 · 10¹¹ MeV/cm² sek, pojavljuje se potreba da se štít hladi. Budući da beton slabo provodi toplotu, treba postaviti neposredno uz jezgro reaktora specijalne obloge koje se mogu hladiti. S obzirom na eksponencijalni zakon apSORPCije, taj tzv. termalni štít apSORBUJE i 90% energije zračenja i smanjuje njen fluks na gore navedenu vrednost koja je dopuštena za normalno konstruisani biološki štít. Termalni štít se hladi vodom ili gasom. Materijal za njegovu izradu mora biti dobar apSORBER za obe vrste zračenja, a uz to treba da ima dobre osobine kao toplotni provodnik. Čelici, obični i legirani sa borom, najčešće se primenjuju, a olovo i njegove legure sa kadmijumom mogu se upotrebiti za niskotemperaturne reaktore manje snage.

Neposredan izbor materijala za štít zavisi od raspoloživog prostora za smeštaj reaktora i od ekonomskih faktora. Pokretni objekti, kao brodovi itd., obezbeđuju samo ograničen prostor za smeštaj reaktora, što uslovljava upotrebu teških materijala bez obzira na cenu. Olovo i čelik za apSORPCiju gama-zraka, a plastične mase kao polietilen i sl. za apSORPCiju neutrona, postavljaju se u

obliku višeslojnog štita za ovakve reaktore. Stacionarni objekti, gde sam reaktor može imati različite dimenzije, dopuštaju širi izbor materijala. U tome slučaju obično je odlučujući faktor ukupna cena štita. Jevtiniji beton male gustine zahteva veću debljinu štita, čime se ukupne dimenzije reaktora povećavaju. Ovo izaziva povećanje dimenzija zgrade odn. hermetičkog kontejnera (zvona) u koji se reaktor smešta. Za reaktore malih dimenzija, npr. cilindričnog oblika $D = 3$ m, $H = 3$ m, najekonomičniji je beton velike gustine $4 \dots 5$ t/m³. Za veće reaktore, $D = 6$ m i $H = 6$ m (ovih je dimenzija najveći broj postojećih reaktora u svetu), optimalna gustina je $3 \dots 4$ t/m³, tj. u domenu baritnih betona. Za velike grafitne reaktore sa dimenzijama preko 10 m najekonomičniji su normalni betoni.

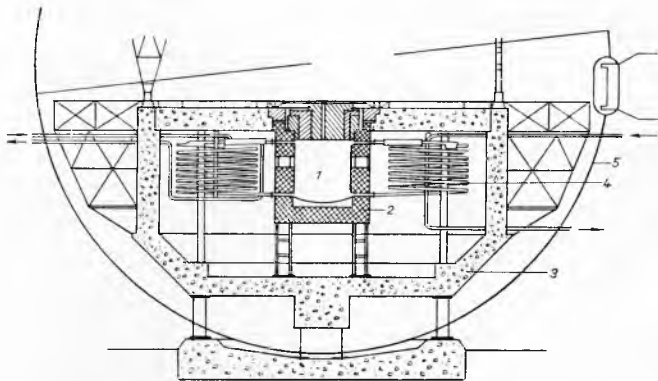
Zaštita kola rashlađivača u sklopu reaktorskog postrojenja bazira na sličnim principima. Rashladni medijum predstavlja izvor gama-zračenja i stoga zahteva posebnu biološku zaštitu. Ukupni intenzitet zračenja rashladnog medija je funkcija fluksa neutrona u reaktoru, hemijskog sastava samoga medija i njegovih nuklearnih osobina. Vreme zadržavanja rashlađivača u reaktoru i njegovo bavljenje van reaktora određuju ukupnu stacionarnu aktivnost kola rashlađivača. Čistoća rashlađivača mora biti tolika da nečistoće ne izazivaju komplikovanje zaštite i da celokupna aktivnost dolazi isključivo od osnovnog sastava medija.

Najmanju aktivnost daju gasni rashlađivači konvencionalnog sastava, kao što su CO₂ i dr., čija je gustina i mogućnost aktiviranja mala. Tečnosti daju pri istim uslovima veću aktivnost, a najveća je aktivnost tečnih metala. Osobine pojedinih rashlađivača mogu se ilustrovati potrebnom debljinom olovne zaštite za cirkulacioni trakt hipotetičnog pogonskog reaktora hlađenog različitim medijumima pri identičnim pogonskim uslovima (tabela 2).

Tabela 2
AKTIVNOST RASHLAĐIVAČA

Rashladni medijum	Potrebna debljina biološkog štita u cm Pb
Voda	15
Kalijum	21
Natrijum	35,5
Litijum-7	21

Biološki štit oko kola rashlađivača projektuje se u zavisnosti od rasporeda elemenata u nuklearnom postrojenju. Moguće je celokupno primarno kolo rashlađivača staviti u posebnu prostoriju i biološki štit projektovati oko čitavog sistema. Pregradni zidovi i parcijalni štitovi postavljaju se radi obezbeđenja pristupa pojedinim tačkama postrojenja u toku rada reaktora. Druga mogućnost je izdvajanje pojedinih elemenata u kolu rashlađivača (razmenjivača, pumpi itd.) u posebne prostorije, koje su građene kao biološki štit. Materijal za zaštitne zidove u stacionarnim postrojenjima je najčešće beton ili drugi neki klasični građevinski materijal. Ako kroz zaštitu prolaze daljinske komande, ventili itd., česta je upotreba železa ili olova, kako bi se pojačala zaštita na tim mestima. Vrata u pogonskim prostorijama izrađuju se isključivo od železa.



Biološki štit reaktora. 1 nuklearni reaktor, 2 reaktorski štit, 3 sekundarni štit (betonski), 4 rashlađivač, 5 zaštitni kontejner

Uklapanje biološkog štita u projekt energetskeg postrojenja. Pogonski zahtevi uslovljavaju oblik zaštite pri nuklearnoenergetskim postrojenjima. Potreba za pasivnom zaštitom u suprotnosti je sa potrebom pristupa osnovnim elementima postrojenja radi pogonske kontrole i popravke. Sa druge strane, ekonomski faktori zahtevaju smanjivanje izdataka na zaštitu kao pasivan element u postrojenju. Ovo zahteva uklapanje i prožimanje celokupnog projekta postrojenja elementima zaštite i usvajanje izvesnih osnovnih koncepcija koje ovu uprošćavaju. Po pravilu se postrojenje koncentriše na što užem prostoru i time stvaraju vrlo kompaktne konstrukcije pogodne za oblaganje biološkim štitom. Pravilo je da se posebno oblaže samo jezgro reaktora, s obzirom na to da je ono najjači izvor zračenja. Često su reaktor i kolo rashlađivača smešteni u istu prostoriju. Reaktorski štit smanjuje dozu zračenja na nivo cirkulacionog medija i potpuno apsorbuje neutrone. Sekundarni štit, koji obuhvata sve aktivne elemente u postrojenju, smanjuje intenzitet zračenja na dopuštenu vrednost (v. sliku). Pristup pogonskim uređajima, tj. ulaz iza sekundarnog štita, dopušten je samo kada reaktor ne radi ili radi sa smanjenom snagom. Raspored instalacija u prostoriji treba da obezbedi maksimum uzajamnog zaklanjanja. Radi toga se reaktor, kao najjači izvor zračenja, nalazi u centru prostorije, a oko njega su postavljene instalacije kola rashlađivača, po principu da aktivniji delovi budu bliže reaktoru, a manje aktivni spoljnim zaštitnim zidovima. Ovim se stvara ušteda u debljini štita i do 10%. Celokupno postrojenje obično je smešteno u zaštitni kontejner, zvonu, ili hermetički zatvorenu zgradu, koji u slučaju udesa sprečavaju rasipanje radioaktivnog materijala po okolini.

LIT.: Th. Rockwell, Reactor shielding, New York 1956. — B. T. Price i dr., Radiation shielding, London 1957. — H. Goldstein, The attenuation of gamma rays and neutrons in reactor shields, USAEC 1957.

N. Raišić

BITUMEN, u širem smislu, plinovita, tekuća, polučvrsta ili čvrsta tvar koja se nalazi u prirodi ili nastaje pirogenim raspadom organske supstance, sastoji se pretežno od ugljikovodika i topljiva je u ugljičnom disulfidu. U bitumene u tom smislu idu: zemni plin, nafta, asfaltiti, ozokerit (zemni vosak) i u ugljičnom disulfidu topljivi dio bituminoznih ugljena, prirodnih asfalta i bituminoznih škrljevaca, a također produkti suhe destilacije, oksidacije i krekovanja nafte i ugljena, ukoliko su topljivi u ugljičnom disulfidu. U užem (tehničkom) smislu, bitumen (zvan također *asfaltni bitumen*) je crna, ljepljiva, na običnoj temperaturi čvrsta ili polučvrsta masa koja se sastoji od ugljikovodika i njihovih nemetalnih derivata, topljiva je u ugljičnom disulfidu, a nalazi se u prirodi ili se dobiva preradom nafte. U ovom članku bit će govora o asfaltnom bitumenu u ovom užem smislu.

B. (kao prirodni asfalt) se već prije šest hiljada godina dobivao u zemljama između Nila i Inda. U starini Grci su ga zvali *ἀσφαλτος* asphaltos (Mrtvo more su po njemu nazivali *ἀσφαλτικός λίμνη* asphaltitis limne), a Rimljani bitumen. Prvo ime izvode iz babilonskog «a spaltu» — ono što je taloženo, drugo jedni izvode od sanskrtskog «jatu», smola, drugi od latinskog «pix tumens», smola koja buja. B. se u starom vijeku upotrebljavao za balzamiranje leševa, kao građevni materijal i u druge svrhe (v. *Asfalt*). U srednjem vijeku je u Evropi pao u zaborav i opet došao u širu upotrebu tek u XIX st.

Proizvodnja asfaltnog bitumena iz nafte počela je u osamdesetim godinama prošlog stoljeća, kad su se iz nafte počeli dobivati i drugi produkti, a ne samo petrolej koji se doonda smatrao jedinim vrijednim produktom destilacije nafte. Tada se primijetilo da destilacijski ostaci nekih vrsta nafte imaju ista svojstva kao prirodni asfaltni bitumeni, te su se stali upotrebljavati u sve većoj mjeri umjesto njih, dok ih nisu po volumenu primjene i proizvodnje daleko natktilili.

Po porijeklu se bitumen može podijeliti u *prirodni* i *umjetni*. Prirodni se nalazi često onečišćen mineralnom tvari kao prirodni asfalt, a rjeđe i čist. Čisti prirodni bitumen dolazi kao *prirodni asfaltni bitumen*, mekana čvrsta ili polučvrsta lako taljiva tvar, ili kao *asfaltit*, čvrsta, tvrda i teško taljiva ili netaljiva masa.

Jedino veliko nalazište čistog asfaltnog bitumena je jezero Bermudez u Venezueli. Ono zauzima deset puta veću površinu nego Asfaltno jezero na Trinidadu (400 ha) ali je mnogo pliće, u prosjeku svega 1,5 m. Smatra se da se jezero popunjava iz izvora bitumena; na obrubu je bitumen dovoljno tvrd da se po njemu može hodati. Nakon uklanjanja vode i hlapljivih sastojina bitumen sadržava 92...97% topljivog u CS₂.

Asfaltiti obuhvataju taljivi *gilsonit*, s tačkom razmekšavanja 110...170°C, d^{25} 1,03...1,10, koji se nalazi u USA (Utah, Colorado), Siriji i Meksiku, *grahamit*, tačka razmekšavanja 170...310°C, d 1,15...1,20, koji se sam ne tali, nego samo u smjesi s gilsonitom, a nalazi se u USA, Meksiku, Trinidadu, Argentini i Peruu u malim