



XA0201164

- 248 -

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАТРИЕВЫХ ПОЖАРОВ,  
СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ

Микеев А.К., Кушук В.А.

С С С Р

Совещание специалистов МАГАТЭ

"Натриевые пожары"

1988 г.

А Н Н О Т А Ц И Я

В докладе рассматриваются: процесс горения натрия, сопровождающие его явления, приводятся данные по средствам и методам активного и пассивного тушения натрия, описывается модель расчета параметров пожара, приводятся результаты экспериментов.

Одним из самых пожароопасных материалов, в больших объемах применяемых на АЭС, является натрий. По своим физическим свойствам натрий является превосходным теплоносителем, но его высокая химическая активность и, прежде всего, его интенсивная реакция при контакте с кислородом и водой требует самых серьезных мер предосторожности для избежания пожаров на АЭС. К натрию не применимы традиционные средства тушения: вода, пена, хладоны, углекислота, многие огнетушащие порошки. Вместе с тем, практически любая утечка натрия на АЭС в атмосферу помещения связана с опасностью его возгорания.

Опыт эксплуатации АЭС, на которых в качестве теплоносителя применяется натрий, показывает, что утечки натрия обычно наблю-

даются в местах сварных швов, тонких деталях (сильфонах, диафрагмах) и различных фланцевых соединениях, где под влиянием термических напряжений, механических и других воздействий возможно образование трещин, щелей или обрывов трубопроводов.

Пожары при больших протечках натрия происходят в две стадии. На первой стадии натрий вытекает из поврежденного участка в виде струи или брызг. При контакте с кислородом воздуха расплавленный натрий начинает гореть. В зависимости от давления, размеров повреждения и наличия задерживающих конструкций истечение натрия может происходить спокойно или сопровождаться разбрызгиванием и распылением. В последнем случае реакция его взаимодействия с кислородом воздуха носит бурный и часто взрывной характер. Обычно чем крупнее повреждение, тем больше вытекает натрия, но меньше образуется брызг. Вторая стадия пожара - горение разлившегося натрия.

Управление процессом горения натрия возможно только при точном знании механизма его горения. Поэтому проводятся специальные экспериментальные и теоретические исследования для определения соответствующих параметров горения массы расплавленного натрия независимо от особенностей и формы расплава.

В соответствии с различными аварийными ситуациями различают три основных типа горения: на поверхности расплава, в распыленной фазе, смешанного типа.

Продукты горения состоят из аэрозолей и веществ, оставшихся после горения. Аэрозоли состоят, главным образом, из окиси ( $Na_2O$ ) и перекиси натрия ( $Na_2O_2$ ). Присутствие в аэрозоле гидрата окиси натрия и следов карбоната объясняется воздействием паров воды и  $CO_2$  воздуха на перекись натрия. Количество натрия в аэрозолях достигает 40% от общей сгоревшей массы.

На этом основании можно сделать вывод, что горение масс

натрия имеет смешанный механизм: горение в парах и горение на поверхности. Механизм схематически может быть представлен следующим образом (рис.1): натрий испаряется и диффундирует через зону, расположенную между массой натрия и пламенем; оксид натрия, образующийся в пламени, уносится из реакционного пространства и превращается в перекись натрия.

Таким образом, горение включает в себя как процессы химические, так и процессы тепло- и массопереноса. Самый медленный из них является процессом, управляющим реакцией и лимитирующим скорость горения.

Скорость горения натрия, определенная по результатам измерений расхода кислорода и количественного анализа продуктов сгорания, в условиях естественной конвекции колеблется от 16

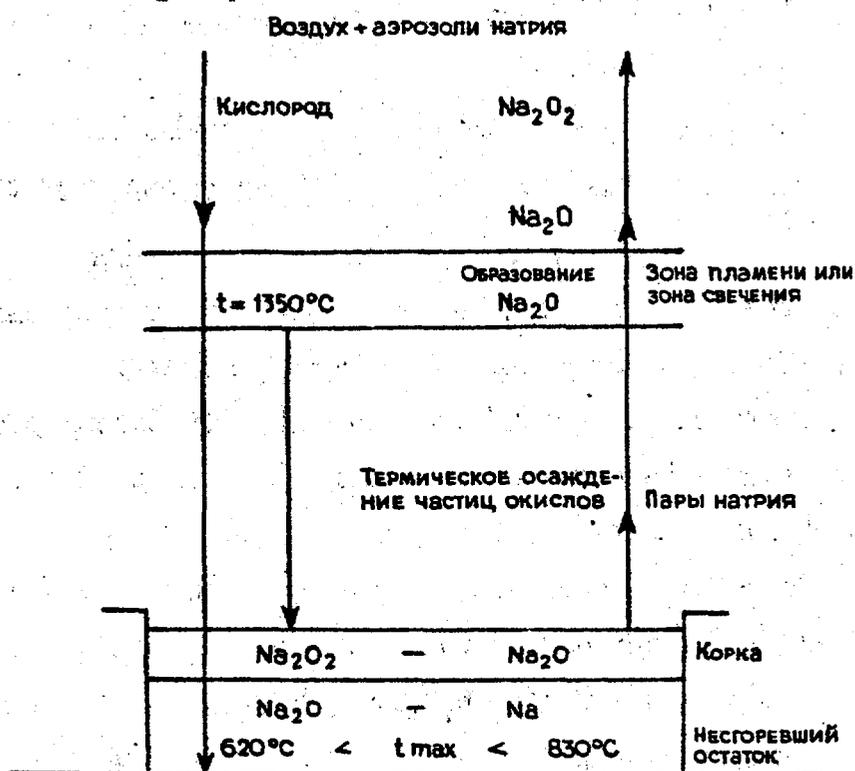


Рис. 1. Схема двойного механизма горения натрия (в паровой и жидкой фазе)

до  $36 \text{ кг} \cdot \text{ч}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$ . При увеличении скорости обдувающего потока воздуха до  $10 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$  массовая скорость выгорания возрастает в 3 раза. На основании экспериментальных данных был сделан вывод, что во время горения температура натрия повышается, но никогда не достигает температуры горения. Ни в одном из проведенных опытов при горении розлитого натрия не была достигнута температура его кипения ( $880^\circ\text{C}$ ). Даже при начальной температуре натрия, равной  $840^\circ\text{C}$ , температура не повышается, а наоборот, снижается и постепенно стабилизируется на уровне  $650^\circ\text{C}$ .

Тушение натрия представляет собой сложный процесс и осуществляется пассивными и активными способами.

К пассивным способам относятся: слив натрия в приемные емкости, находящиеся вне помещения, слив натрия в поддоны, находящиеся в помещении, предварительное размещение под оборудованием с натрием расширяющихся составов, которые способны тушить попадающий на них натрий.

Активные способы пожаротушения заключаются в использовании огнетушителей или иных средств, подающих в помещение огнетушащее вещество.

Высокая химическая активность натрия затрудняет использование для его тушения традиционных средств и способов. При ликвидации пожара объемным способом (путем разбавления воздуха азотом) потушенный натрий, благодаря образовавшейся перекиси, становится еще более пожароопасным. Температура его самовоспламенения значительно снижается с  $300$  до  $100^\circ\text{C}$ , что может привести к повторному загоранию. Этот эффект обуславливается реакцией перекиси с исходным натрием. Перекись может взрывообразно реагировать при механическом перемешивании с натрием и некоторыми органическими маслами. Данные обстоятельства осложняют тушение натрия.

Поэтому при его тушении необходимо не только создать бескислородную атмосферу, но и поддерживать её в течение длительного времени до остывания массы натрия ниже  $100^{\circ}\text{C}$ . Поскольку предельное содержание кислорода, при котором прекращается горение, чрезвычайно низкое (менее 5 %, а для нефтепродуктов, полимерных материалов 12-18 %), то для объемного тушения требуется обеспечить повышенную герметичность помещения и очень большой объем азота.

Для повышения эффективности тушения натрия газообразным азотом рекомендуется добавлять к нему от 5 до 15 % углекислого газа. Последний, вступая в реакцию с перекисью натрия, превращает её в инертный карбонат, поэтому повторное самовоспламенение не наступает даже при  $200-250^{\circ}\text{C}$ .

Процесс объемного пожаротушения натрия в помещении можно оптимизировать, если иметь достаточно ясные представления о характере тепло- и массообмена горящего натрия с окружающей средой (воздухом, строительными конструкциями). Для изучения явлений, происходящих в герметичном и негерметичном помещениях при пожаре с натрием, разработана одномерная математическая модель. Она основывается на численном решении нестационарного уравнения переноса тепла с учетом источников и стоков тепла. Для более точного представления характера тепло- и массопереноса весь объем помещения по высоте разбивается на зоны. При решении задачи задаются условия сопряжения на границах зон.

Результаты расчетов при численном моделировании на ЭВМ для герметичного и негерметичного помещений представлены на рис. 2.

В случае герметичного помещения давление газа не превышает 0,18 МПа, средняя температура составляет 650°К, время выгорания кислорода до самотушения около 10 мин. Время до наступления самотушения в негерметичном помещении меньше, чем в герметичном. Это можно объяснить тем, что часть воздуха выбрасывается через неплотности при давлении в помещении больше атмосферного, а скорость выгорания натрия изменяется незначительно. Анализ полученных данных показывает, что наиболее оптимальным режимом объемного тушения с использованием инертного газа является режим, при котором осуществляется вначале удаление газовой среды из помещения до выравнивания давления в нем с атмосферным, а затем подача инертного газа (кривые 3 рис.2).

Применение жидкого азота для тушения натрия нецелесообразно, так как при этом происходит конденсация влаги и кислорода из воздуха, что в дальнейшем не только вызывает горение потушенного натрия, но и может привести к взрыву.

Разновидностью самотушения является тушение натрия с помощью поддонов. Способ заключается в том, что выливающийся при аварии жидкий натрий стекает в специальные поддоны-ящики с наклонными крышками. При заполнении поддона создается гидрозатвор из натрия. Внутри поддона образуется герметичное пространство, способствующее самозатуханию натрия.

Испытания различных конструкций поддонов, две из которых представлены на рис.3 и рис.4, позволили установить закономерности изменения температуры металла в них при самотушении. Результаты опытов (рис.5) показывают, что использование охлаждения в поддонах позволяет значительно ускорить процесс тушения.

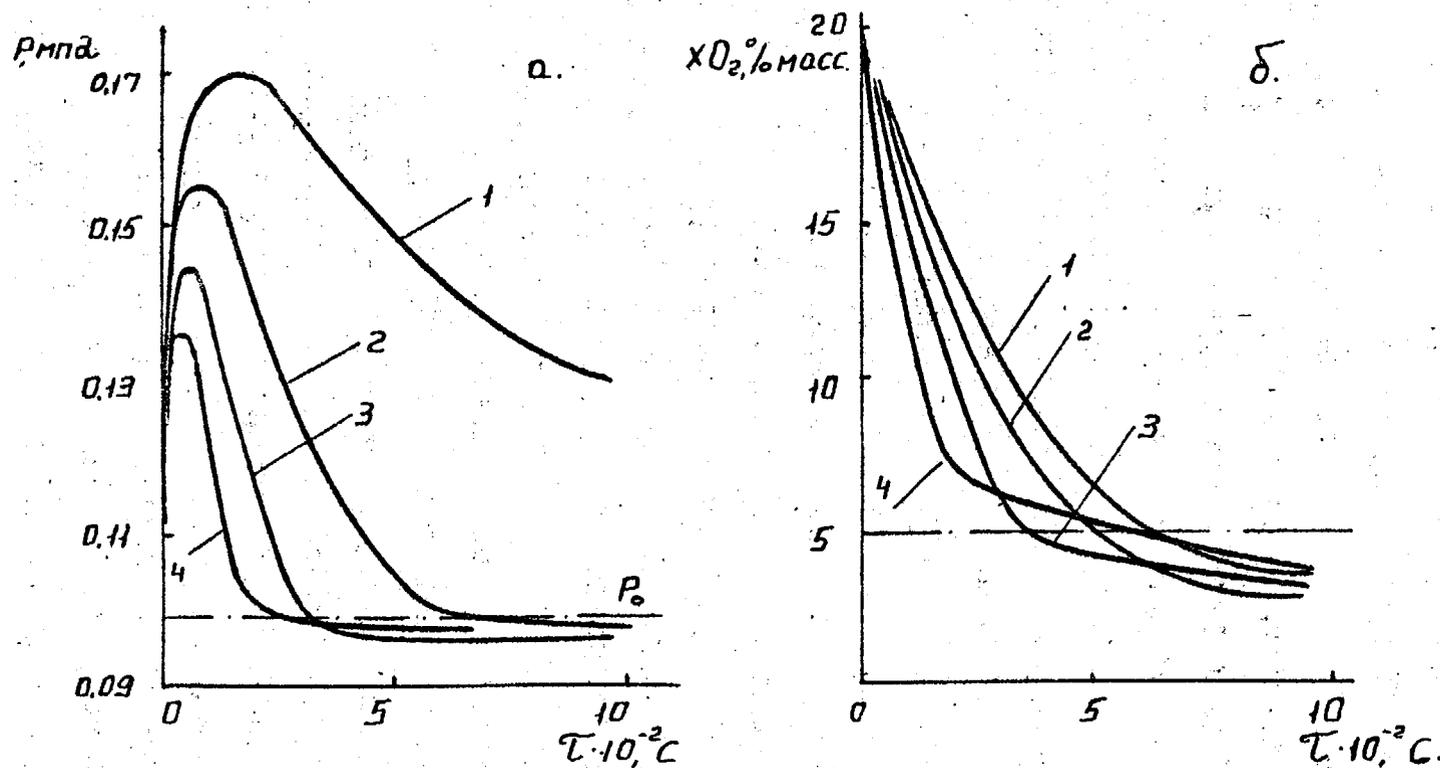


Рис. 2. Изменение давления (а) и массовой доли кислорода (б) в помещении объемом  $5 \times 5 \times 4 \text{ м}^3$  различной степени герметичности при горении натрия:

- 1 - герметичный объем,
  - 2 - утечка через неплотности  $1,4 \text{ объема.час}^{-1}$ ,
  - 3 - утечка через неплотности  $1,4 \text{ объема.час}^{-1}$  и в вентиляцию  $2,8 \text{ объема.час}^{-1}$ ,
  - 4 - утечка через неплотности  $2,8 \text{ объема.час}^{-1}$  и в вентиляцию  $5,6 \text{ объемов.час}^{-1}$ .
- Расход утечек определен при условном перепаде давления 50 мм.в.ст., расход вентиляции - 200 мм.в.ст.

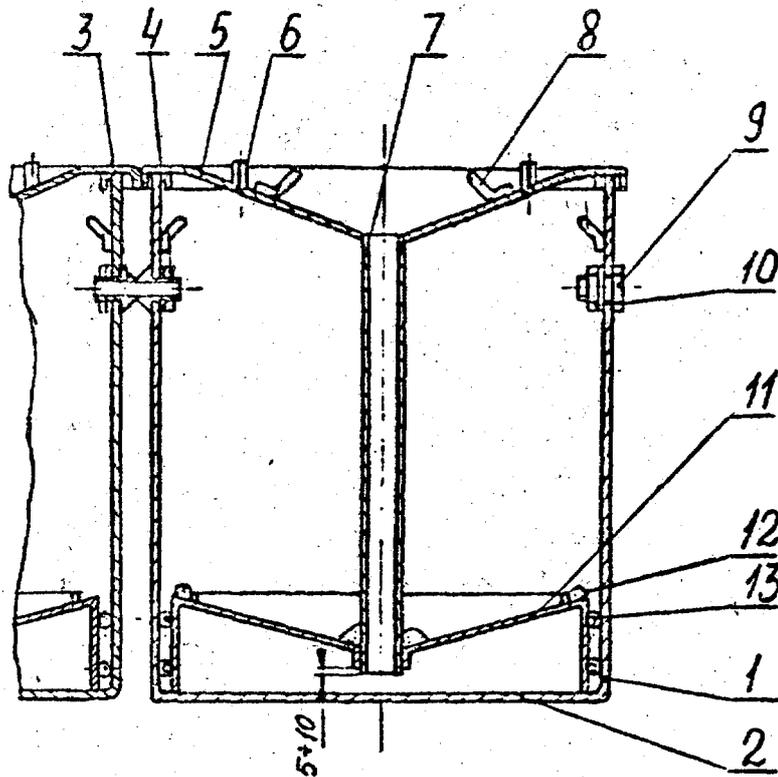


Рис. 3. Поддон с поплавком:

- I - корпус,
- 2 - дно,
- 3 - переливная трубка с ослабленным сечением,
- 4 - гайка с шайбой,
- 5 - крышка,
- 6 - отверстие сброса давления,
- 7 - сливная труба,
- 8 - скоба,
- 9, 10 - герметизирующий болт с шайбой и гайкой,
- II - поплавок,
- 12 - состав (дополнительная герметизация зазоров при термическом воздействии теплоносителя),
- 13 - ролики, уменьшающие трение при всплытии

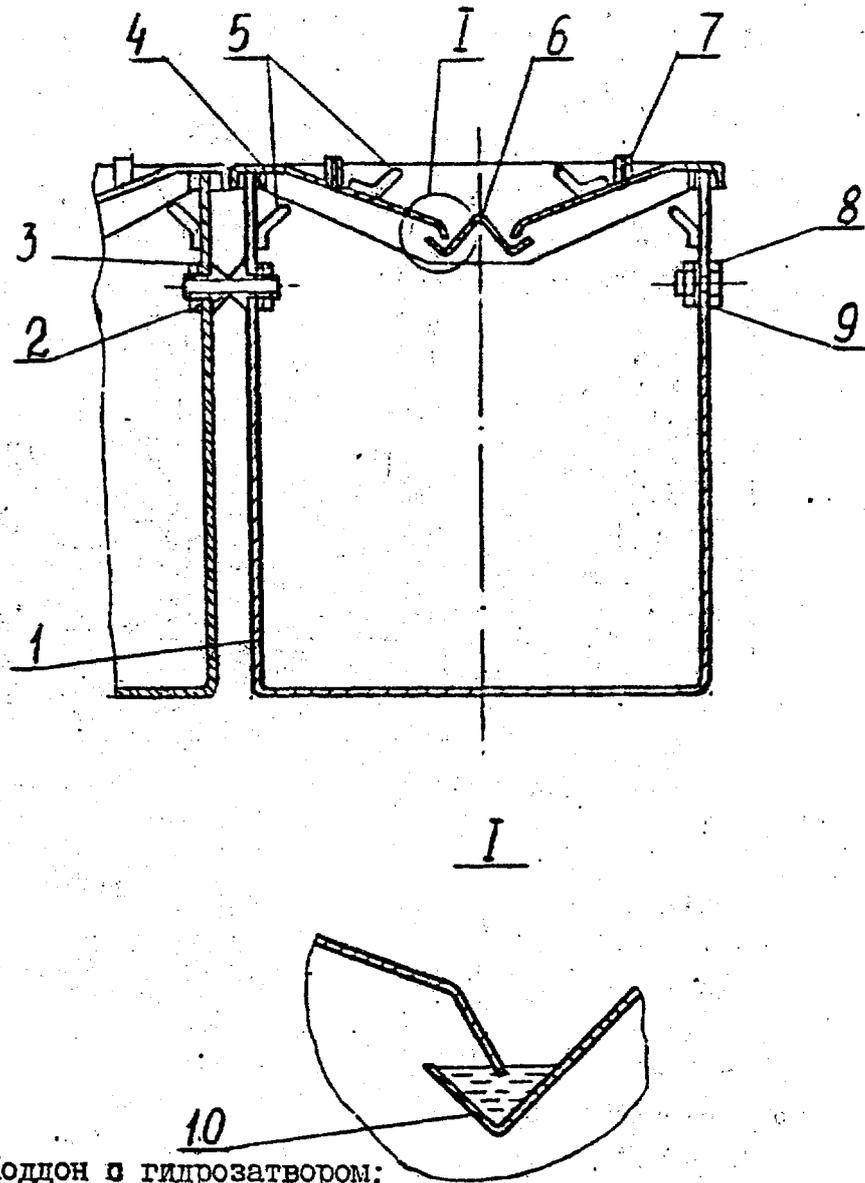


Рис.4. Поддон с гидрозатвором:

- 1 - корпус,
- 2 - переливная трубка с ослабленным сечением,
- 3 - гайка с шайбой,
- 4 - крышка,
- 5 - скоба,
- 6 - призматический обтекатель,
- 7 - отверстие сброса давления,
- 8,9 - герметизирующий болт, гайка и шайба,
- 10 - гидрозатвор

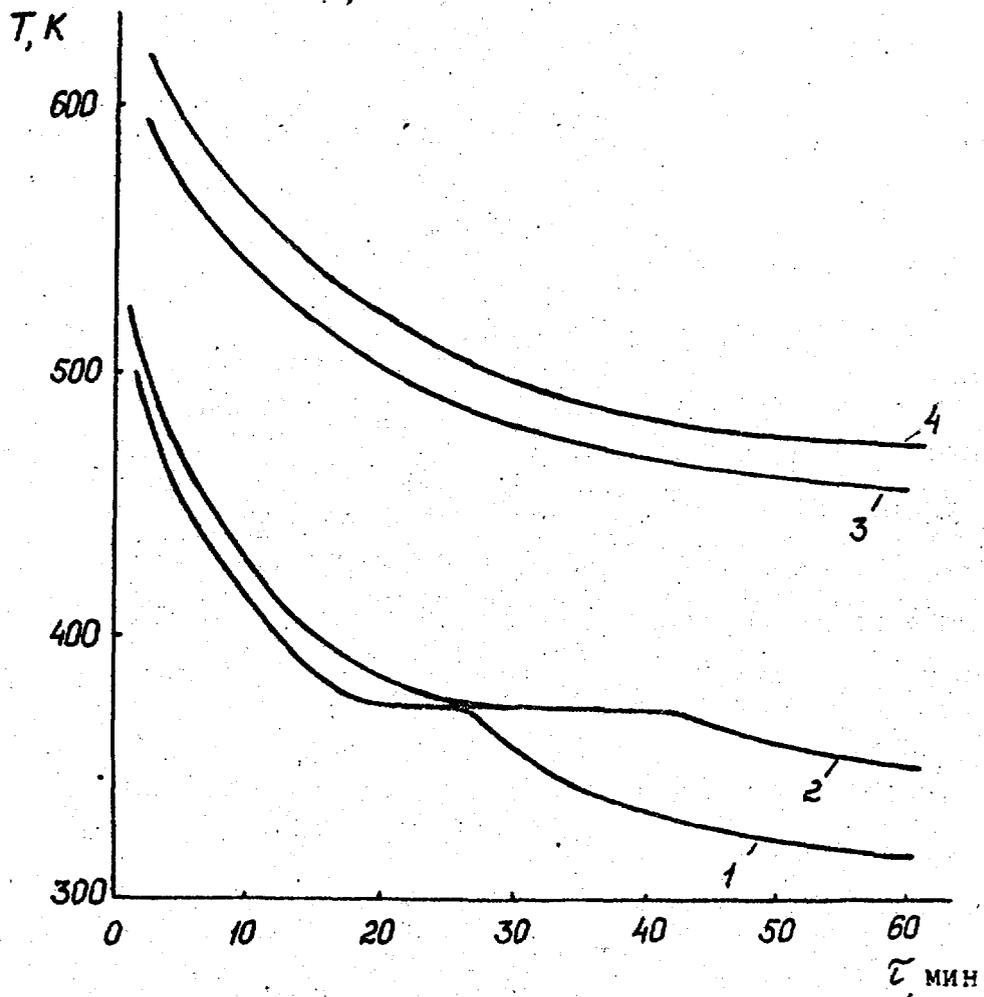


Рис. 5 . Изменение температуры натрия в поддонах после пролива ( $T_{Na} = 800 \text{ K}$ ):

- 1, 2 - поддон с жидкостным и газовым охлаждением соответственно;
- 3 - поддон с поплавком;
- 4 - система из трех поддонов с щелевым гидрозатвором

Вместе с этим этот способ тушения имеет ряд существенных недостатков: поддоны достаточно громоздки, их трудно устанавливать в помещениях и извлекать из них при ликвидации последствий аварии; не обеспечивается прекращение дымовыделения и тушения на поверхности поддонов.

Наиболее распространенным является тушение натрия порошками. В разных странах используются, как правило, составы, отличающиеся лишь некоторыми компонентами и технологией их изготовления.

До настоящего времени для тушения натрия использовались порошки ПС-I (на основе обычной соды) и глинозем. Эти составы не отличаются высокой огнетушащей способностью и, кроме того, тонут в расплавленном натрии. Чем больше слой жидкого металла, тем выше расход порошка при тушении. При глубине слоя натрия 12 см расход глинозема составляет  $290 \text{ кг м}^{-2}$ , расход порошка ПС-I -  $350 \text{ кг м}^{-2}$ .

Несколько большей огнетушащей способностью (при толщине слоя натрия до 5 см расход до  $50 \text{ кг м}^{-2}$ ) обладают порошки типа ПГС-М и ПХ. Их достоинством является универсальность - они тушат не только натрий, но и другие металлы, а также ЛВЖ и ГЛ.

Для тушения натрия разработаны специальные огнетушащие порошки МГС и ППМ, обладающие большей огнетушащей способностью. Эти порошки пожаровзрывобезопасны, нетоксичны, не увлажняются при хранении, легко высыпается через узкие отверстия. Состав можно заряжать в огнетушители. Шланги этих огнетушителей следует снабжать насадками-успокоителями, через которые порошок высыпается на поверхность горящего натрия без пыления. Огнетушащая способность МГС, ППМ составляет примерно  $8-10 \text{ кг м}^{-2}$ , независимо от слоя горящего натрия. Составы производятся серийно