

УДК 623.459.84

## Научно-технические аспекты оптимизации процесса доставки химических боеприпасов ствольной и реактивной артиллерии на объекты по уничтожению химического оружия

© 2013. В. Б. Антипов, д.х.н., г.н.с., А. Х. Хасанов, с.н.с.,  
Научно-исследовательский центр Федерального управления  
по безопасному хранению и уничтожению химического оружия,  
e-mail: fubhuho@yandex.ru

Описаны научно-технические пути решения задач транспортной логистики и оптимизации процесса доставки химических боеприпасов ствольной и реактивной артиллерии на объекты по уничтожению химического оружия.

The article describes the scientific and technical solutions to problems of transportation logistics and optimizing the delivery of chemical munitions and rocket artillery cannons to chemical weapons decommission plants.

Ключевые слова: уничтожение химического оружия, технологический цикл, оптимизация параметров технологического процесса

Keywords: chemical weapons decommission, production cycle, process parameters optimization

Российская Федерация в рамках федеральной целевой программы «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации» (Программа) [1] в настоящее время выполняет четвёртый, завершающий этап работ.

Главная цель Программы состоит в уничтожении запасов химического оружия (ХО) на территории Российской Федерации в заданные сроки, в соответствии с Конвенцией о запрещении разработки, производства, накопления и применения химического оружия и о его уничтожении (Конвенция) [2] и обеспечения безопасности при хранении, уничтожении, перевозке ХО.

Одним из важнейших программных мероприятий уничтожения запасов ХО является его перевозка на специальном автомобильном или железнодорожном транспорте от объектов по хранению химического оружия (ОХХО) до объектов по уничтожению химического оружия (ОУХО), а также разработка методов и средств обеспечения промышленной безопасности при уничтожении ХО и его перевозке.

Такой подход объясняется большой потенциальной опасностью отравляющих веществ (ОВ), составляющих основу ХО.

На безопасность транспортирования химических боеприпасов (ХБП) оказывают влияние следующие основные источники потенциальной опасности: токсический потенциал ОВ; необратимость физико-химических процессов старения, протекающих при долговре-

менном хранении ХБП; катастрофы техногенного и природного характера; несанкционированный доступ к ХБП посторонних лиц.

Для уменьшения опасности и риска при хранении, перевозке и уничтожении ХО требуется решить проблему разработки комплекса мероприятий по обеспечению безопасной, бесперебойной и своевременной доставки ХО на ОУХО.

Учитывая тенденции экономического развития России, по мере накопления опыта уничтожения ХО, всё более актуальными становятся вопросы оптимизации затрат на уничтожение оставшихся запасов ХО при неизменном обеспечении безопасности работающего персонала и окружающей среды.

В настоящее время в России уничтожено около 80% запасов ХО, основная часть которых приходится на ОВ, хранящиеся в ёмкостях, и авиационные ХБП, содержащие в одном боеприпасе значительное количество ОВ.

Оставшиеся из подлежащих уничтожению ОВ хранятся в основном в ХБП ствольной и реактивной артиллерии на объектах, расположенных в Щучанском районе Курганской области и Кизнерском районе Удмуртской Республики. Общее количество артиллерийских боеприпасов составляет около трёх миллионов штук.

В связи с этим создание методических и программных средств, средств обеспечения своевременной, безопасной и с наименьшими затратами доставки ХБП ствольной и реактив-

ной артиллерии на ОУХО является актуальной и важной научно-практической задачей. Указанные средства необходимы при проведении научных исследований, проектировании и управлении процессами уничтожения ХО на объектах по хранению и уничтожению химического оружия. В настоящее время такие методические и программные средства, готовые к применению в отношении ОХУХО, отсутствуют, а те, что имеются, требуют существенной доработки для учёта уникальных особенностей конкретных объектов.

Приступая к разработке методики оптимизации процесса доставки ХБП ствольной и реактивной артиллерии на ОУХО, вначале целесообразно последовательно рассмотреть несколько узконаправленных задач, представляющих в итоге единый алгоритм [3]: обоснование необходимого запаса ХБП на ОУХО; выбор вида транспортировки ХБП на разных этапах их доставки с ОХХО на ОУХО; минимизация общих временных затрат, возникающих при доставке ХБП с ОХХО на ОУХО; расчёт количества людей, техники и оборудования, необходимого для выполнения потребных поставок ХБП с ОХХО на ОУХО.

Запас ХБП на ОУХО определяется, исходя из требований обеспечения бесперебойной работы ОУХО при поставке ХБП фиксированным объёмом в размере суточной потребности.

Следует добавить, что склад ОУХО должен иметь дополнительный объём, позволяющий размещать ещё один комплект ХБП, что поможет компенсировать такие сбои в поставках как «преждевременная поставка» и «поставка завышенного объёма». К тому же дополнительный объём склада ОУХО позволит организовать более равномерную и стабильную работу на ОХХО.

Учитывая большие запасы ХО, подлежащие доставке, естественно предположить, что масштабы перевозок должны быть весьма значительны и столь же значительны затраты на перевозки. Уменьшение этих затрат хотя бы на несколько процентов приводит к значительной экономии, а следовательно, к снижению стоимости предлагаемого потребителю груза. Отсюда сокращение затрат на перевозки – важнейшая задача транспортной логистики.

Химические боеприпасы ствольной и реактивной артиллерии имеют разные калибры. По этой причине для перевозки одного и того же потребного количества ХБП (на всех этапах транспортировки) требуется разное количество соответствующей техники в зависимости от типа транспортируемых ХБП.

С другой стороны, с разными типами ХБП продолжительность одних и тех же операций в общем случае различна. А зачастую требуется выполнять разные операции. Поэтому для определения необходимого количества людей, техники и оборудования нужно ориентироваться на худший вариант, когда потребности в перечисленном максимальны.

Технологический процесс (ТП) утилизации ХБП является инструментом решения аналогичной задачи и представляет собой циклически повторяющуюся последовательность технологических операций. Число технологических циклов (ТЦ) при заданных параметрах цикла зависит от количества утилизируемых рецептур ОВ и ХБП. Следовательно, задачу утилизации ХБП с учётом исходных данных и принятой выше идентификации, как ТП, можно сформулировать следующим образом: в результате реализации требуемого числа ТЦ должно быть утилизировано  $N$ -ное количество ХБП  $J$ -того числа калибров, снаряжённых  $\Pi$ -тым количеством рецептур ОВ и находящихся в  $X$ -вом числе хранилищ. В общей постановке задачи каждый ТЦ представляет собой совокупность последовательных операций, при выполнении которых будет утилизировано  $N_{\text{ц}}$  ХБП. Число ТЦ, кроме указанного выше, определяется и количеством рецептур ОВ, производительностью объектов, временем как подготовки, так и утилизации, содержанием ТП в зависимости от сезона года и т. п.

В связи с тем, что задача оптимизации ТП на ОУХО не ставится, приведённые выше характеристики могут быть отнесены только к ТП подготовки ХБП к отправке на ОУХО и транспортировке между объектами. При этом транспортировка может быть выделена в зависимости от исходных данных в отдельную задачу транспортного типа. Таким образом, оптимизация задачи утилизации ХБП заключается в минимизации времени утилизации при оптимальном соотношении сил и средств, т.е. практически в оптимизации параметров одного ТЦ (как структуры, так и его длительности).

ТЦ, представляющий последовательность действий в технологической цепи, разбивается на технологические операции, каждая из которых представляет собой последовательность действий с одним или несколькими объектами (ХБП, контейнер, автотранспорт и т. д.) и заканчивается промежуточным результатом (доставка ХБП к месту назначения, подготовка к отправке и т. п.). При выполнении всех опе-

раций ТЦ заканчивается. Число и содержание операций могут задаваться как исходные данные или определяться на основе их в процессе решения задачи оптимизации. Рассмотрение большого числа мелких операций нецелесообразно, т. к. при этом решение задачи становится громоздким и потому трудоёмким.

Весьма важным при определении содержания операций является правильный выбор параметров оптимизации, который позволит совместить (по времени, месту, содержанию и т. п.) разнородные действия, составляющие операции, и определить последовательность их выполнения, т. е. определить положение диапазона времени её выполнения в длительности ТЦ. Таким образом, может быть определена реальная длительность цикла, которая будет меньше технологической.

В общем виде задача оптимизации может быть сформулирована с помощью теории множеств [4], что позволит формализовать задачу на этапе разработки алгоритма оптимизации.

В целом ТП подготовки ХБП к утилизации можно представить как множество операций:

$$T = \{Q_1; Q_2; \dots; Q_q\},$$

где каждая из операций является, в свою очередь, множеством:

$$Q_1 = \{a_1; a_2; \dots; a_p\}; Q_2 = \{b_1; b_2; \dots; b_q\}; \dots \\ Q_q = \{h_1; h_2; \dots; h_s\},$$

т. е. являются подмножеством множества  $T$ :

$$Q \subset T.$$

Практически элементы подмножеств представляют собой элементарные операции (действия) в составе операции ТЦ и каждая последовательность этих действий (элементов, подмножеств) принадлежит только одному подмножеству, тогда:

$$b \notin Q_1, c \notin Q_2.$$

Из этих подмножеств могут быть образованы объединения-множества, состоящие из всех элементов (элементарных операций, действий), принадлежащих хотя бы одному из этих множеств:

$$Q_1 \cup Q_2, Q_1 \cup Q_3, Q_2 \cup Q_3 \dots$$

Практически это означает увеличение состава одной операции за счёт другой, дублирование отдельных действий, что не приводит к сокращению длительности ТЦ. При этом множество как результат объединения конкретных производственных действий представляет собой последовательность их выполнения в рамках одной технологической операции при параллельном выполнении других операций.

Другая операция над множествами – пересечение. При этом образуется новое множество, состоящее из всех элементов, принадлежащих одновременно обоим множествам:

$$Q_1 \cap Q_2, Q_1 \cap Q_3, Q_2 \cap Q_3, \dots$$

Это означает укрупнение операций с сохранением всех функций прежних, что также не приводит к сокращению длительности ТЦ (рис. 1).

Наиболее показательное применение теории множеств при оптимизации работы автоматических систем, состоящих из большого числа исполнительных устройств, работа каждого из которых описывается с помощью специальных функций [5].

Анализ свойств объединений множеств позволяет оценить возможности их использования при оптимизации ТП.

**Ассоциативность** – объединение операций:

$$(Q_1 \cup Q_2) \cup Q_3 = Q_1 \cup (Q_2 \cup Q_3), \\ (Q_1 \cap Q_2) \cap Q_3 = Q_1 \cap (Q_2 \cap Q_3).$$

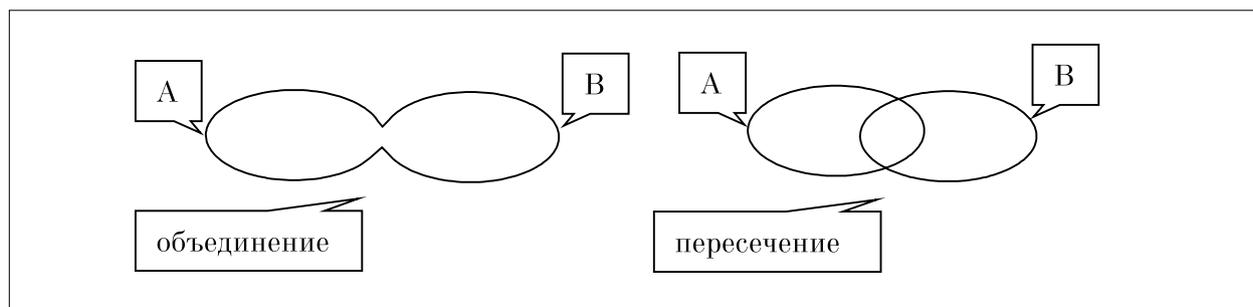


Рис. 1. Иллюстрация действий со множествами

**Дистрибутивность** – пересечение двух множеств, одно из которых объединение, равнозначно объединению их взаимных пересечений:

$$(Q_1 \cup Q_2) \cap Q_3 = (Q_1 \cap Q_3) \cup (Q_2 \cap Q_3)$$

$$(Q_1 \cap Q_2) \cup Q_3 = (Q_1 \cup Q_3) \cap (Q_2 \cup Q_3)$$

Применительно к решаемой задаче оба свойства означают образование технологических цепочек в составе ТЦ путём объединения операций, имеющих одинаковые элементы ТП. Например, образование единого рабочего места по упаковке, транспортировке и т.п. продукции, получаемой при различных технологических операциях. Применительно к задаче подготовки ХБП к утилизации это может быть, например, единая мобильная структура (группа), оснащённая необходимой техникой, для выполнения такелажных работ для всех операций ТЦ. Другой пример – объединение операций по подготовке к отправке ХБП и их укладки в контейнеры как единое составляющее ТЦ. Таким образом, создание объединений и пересечений множеств, элементами которых являются элементарные операции (действия) ТП, позволяет оптимизировать его структуру.

Другой задачей оптимизации ТП утилизации ХБП является оптимизация производственного процесса, т. е. минимизация длительности ТЦ на ОХХО при соблюдении его непрерывности.

Эта задача может быть решена также с использованием теории множеств путём оптимизации как длительности выполнения отдельных технологических операций и их совокупностей (объединений и пересечений как множеств), так и их взаимного положения во временном диапазоне ТЦ. То есть параметром оптимизации являются временные интервалы, соответствующие определённым операциям, стадиям (этапам) ТП подготовки ХБП к утилизации.

Очевидно, общим параметром всех операций, в том числе и ТЦ, является время, точнее, длительность  $t_q$  операции и цикла  $T_q$ , связанные зависимостью:

$$T_q = \sum_{q=1}^Q t_q.$$

Если на ОХХО находится  $N$  ХБП, а за один ТЦ к поставке на ОУХО готовится  $N_q$  ХБП, то потребное число ТЦ в подготовки к поставке всех ХБП составит:

$$n_q = N / N_q.$$

Другими параметрами, связанными со временем, являются производительности операции  $P_q$  и цикла  $P_q$  – количество единиц продукта (ХБП, контейнер с ХБП и т. п.), прошедшее операцию, или ТЦ за время их длительности, шт./ч (сутки, мин., с).

Таким образом, ТП может быть представлен множеством параметра  $t$ :

$$T = \{t_1, t_2, \dots, t_q\}.$$

Технологические операции представляются аналогично и являются подмножествами множества  $T$ :

$$Q_1 = \{t_1, t_2, \dots, t_3\}, Q_2 = \{t_1, t_2, \dots, t_3\},$$

$$Q_q = \{t_1, t_2, \dots, t_3\}.$$

Параметром этих подмножеств может быть время, соответствующее началу операции на оси времени ТЦ, длительность операции или действия и т.п., то есть сами действия заменяются временными интервалами. Образующие из этих подмножеств объединения и пересечения практически означают совмещение по времени выполнения отдельных действий и операций, что наглядно реализуется в сетевых графиках. Это позволяет в итоге минимизировать длительность ТЦ и сократить сроки утилизации ХБП в целом.

Данный подход с использованием математического аппарата теории множеств является общим, когда оптимизация ТП отправки производится по всем составляющим его технологическим цепочкам. При ограничении параметров отдельных операций или технологических цепочек процесс оптимизации упрощается. Так, при заданных производительности технологического цикла конвейера, суточной потребности ХБП на объектах подготовки и уничтожения, последовательности операций (в данном случае последовательность рецептур ОВ и калибров), ограничении ресурсов (например, количества единиц автотранспорта, конвейеров, ёмкости тары и контейнеров и т.п.), оптимизация как математическая задача сводится к определению продолжительности отдельных операций и количества необходимых при этом средств.

Для выполнения расчётов для конкретного ОУХО по приведённому в данной статье алгоритму необходимо иметь следующие исходные данные:

а) количество типов ХБП на ОХХО; количество ХБП каждого типа; количество опе-

раций, выполняемых с ХБП каждого типа и их продолжительность на всём пути доставки ХБП с ОХХО на ОУХО;

б) потребные поставки ХБП с ОХХО на ОУХО на каждый рабочий день; продолжительность рабочего дня на ОХХО;

в) вместимость транспортировочной тары для каждого типа ХБП;

г) располагаемые транспортные средства для разных этапов транспортировки ХБП; их вместимость для каждого типа ХБП; средняя допустимая скорость движения располагаемых транспортных средств;

д) расстояния между всеми «перевалочными» пунктами на всём пути доставки ХБП с ОХХО на ОУХО;

е) количество исполнителей работ (операций), эффективность их использования в каждой операции.

Рассмотрим последовательность выполнения работ по подготовке и отправке на ОУХО ХБП ствольной и реактивной артиллерии на ОХХО «Щучье» Курганской области.

ХБП должны отправляться на ОУХО в нормативно определённой последовательности: сначала боеприпасы, снаряжённые рецептурами зарин и зоман, затем Ви-икс и «вязкий Ви-икс». Боеприпасы с одинаковой рецептурой ОВ отправляются в последовательности возрастания калибра.

Работы по отправке ХБП на ОУХО организуются и проводятся в местах постоянного хранения ХО [6, 7]. ХБП на ОУХО отправляются в герметизированных контейнерах железнодорожным транспортом в крытых вагонах модели 11-217. Перед отправкой проводится проверка технического состояния боеприпасов, которые квалифицируются как исправные (герметичные) и аварийные. Аварийные боеприпасы (изменение цвета индикаторного покрытия, наличие подтёков из-под холостой пробки, негерметичность заливного узла, обнаружение паров ОВ в запальном стакане с помощью войскового прибора химической разведки (ВПХР) или химическим полуавтоматическим аспиратором АПХ-03) укладываются в герметичные футляры для последующего отправления на ОУХО. Работа по отправке исправных (герметичных) боеприпасов организуется поточным методом.

При отправке в общем случае проводятся следующие работы: перемещение ХБП от хранилища до терминала; сосредоточение сменного запаса ХБП в таре для обогрева (в холодное время года); подготовка к отправке;

погрузка в герметизированный контейнер; проверка герметичности фланца загруженного контейнера; погрузка контейнеров в железнодорожный вагон; транспортирование контейнеров с боеприпасами на ОУХО.

Из хранилища ХБП для обработки доставляются на терминал автотранспортом в технологической многооборотной таре, укладка боеприпасов в которую производится в хранилище.

Сосредоточение на терминале сменного запаса ХБП для обогрева производится в холодное время года. Необходимость обогрева объясняется возникающей сложностью при снятии застывшей при низкой температуре консервационной смазки. Нормативное время для обогрева ХБП установлено в количестве трёх суток.

Работы по подготовке боеприпасов к отправке и погрузке в контейнеры проводятся на специализированном участке. Для подготовки к отправке на участке организовано 4 конвейера с производительностью 1000 ХБП за 16 часов каждый.

После проверки технического состояния у боеприпасов ствольной артиллерии с цилиндрической части снимается защита (консервационная смазка). Для удобства работы боеприпасы вращаются. Для вращения боеприпасов, имеющих большую массу, в запальный стакан ввинчиваются рым-болты, которые в дальнейшем используются для погрузки этих боеприпасов в контейнеры с помощью электропогрузчиков и траверсы.

На основании изложенного следует, что содержание операций по подготовке ХБП к отправке отличается для разных боеприпасов. Однако производительность конвейера на терминале является постоянной величиной: 1000 ХБП за 16 часов. И боеприпас при подготовке к отправке должен пройти по всему конвейеру от начала (выгрузка на конвейер) до конца (погрузка в герметизированный контейнер). Таким образом, при установившемся режиме работы конвейера с него каждые 58 секунд должен сходить один ХБП, прошедший полную подготовку (независимо от типа и калибра), который сразу же должен быть загружен в герметизированный контейнер. То есть чистое время погрузки ХБП в контейнер определяется умножением числа боеприпасов в контейнере на время выполнения операций на конвейере (58 секунд). В случае же одновременной работы всех 4-х конвейеров каждые 58 секунд с них будет сходить 4 подготовленных к отправке боеприпаса.

После подготовки к отправке ХБП загружаются в герметизированный контейнер, в который укладывается и закрепляется соответствующая порционная тара. Предварительно контейнер проверяется на герметичность. Под погрузку подаются только исправные, укомплектованные и герметичные контейнеры. Погрузка боеприпасов в контейнеры производится с использованием электропогрузчика ЭП-103 (ЭП-201) со стрелой и специальной траверсы.

После погрузки и закрепления ХБП на контейнер устанавливается крышка, и контейнер подаётся на участок проверки герметичности фланца загруженного контейнера. Без проверки герметичности фланца загруженные контейнеры на ОУХО не отправляются. При обнаружении негерметичности выясняется и устраняется её причина. При невозможности устранения причины ХБП перегружаются в исправный контейнер. Неисправный контейнер направляется на ремонт. Загруженные герметичные контейнеры подаются электропогрузчиком на железнодорожную погрузочно-разгрузочную платформу.

После накопления соответствующего количества контейнеры загружаются в крытые железнодорожные вагоны модели 11-217, которые имеют расширенные дверные проёмы, что позволяет использовать для погрузки контейнеров электропогрузчики ЭП-103.

В вагоне контейнеры размещаются в 1 или 2 яруса по высоте (34 или 68 шт. соответственно). После погрузки контейнеры закрепляются, вагон закрывается, пломбируется и подаётся на формирование эшелона.

Упрощение задачи оптимизации позволяет рассматривать её как информационную систему, позволяющую управлять запасами и принимать оперативно оптимальные решения при изменении условий ТП отправки ХБП.

Существует множество алгоритмов, работающих в режиме реального времени и контролируемых постоянные поминутные изменения в физической системе. Однако учитывая проблему соизмерения затрат и результатов при решении вопроса о хранении информации, более приемлемой может оказаться работа методом групповой обработки, при котором данные обновляются ежедневно (или по мере необходимости), но ответ может обеспечиваться с задержкой. Анализируя реальные потребности управления запасами ХБП, необходимо признать преимущества работы алгоритма, построенного по методу групповой обработки данных (запасов ХБП,

подлежащих уничтожению). Поэтому алгоритм программы расчёта вариантов доставки боеприпасов с ОХХО на ОУХО был разработан именно с учётом этого вывода.

Поскольку ХБП должны отправляться на ОУХО в строгой последовательности, то их выборка будет осуществляться с приоритетом рецептуры ОВ: зарин (Р-35) → зоман (Р-55) → Ви-икс (Р-33) → «вязкий» Ви-икс (ВР-33) (операнды 5, 6, 7 и 8); а также с учётом возрастания калибра ХБП: 85 мм → 122 мм → 130 мм → 140 мм → 152 мм → 220 мм (операнды 9, 11, 13, 15, 17 и 19) (рис. 2).

Формирование информационного массива  $M_n$  (где  $n$  – количество массивов), содержащего данные о запасе ХБП  $N_i$  (где  $i$  – калибр ХБП), подлежащих отправке со склада, осуществляется исходя из следующих исходных данных:

1) производительности ОУХО, выраженной в количестве ХБП, утилизируемых за сутки,  $P$  (операнд 1);

2) необходимого суточного запаса ХБП на складах самого ОУХО, который задаётся сутками,  $K_1 = 1, 2, \dots, j$  (операнд 2);

3) необходимого суточного запаса ХБП на отоплении терминала в холодное время года, задаваемого также в сутках,  $K_2$  (операнд 3).

Если запас выбранной номенклатуры ХБП ( $N_i$ ) будет превышать производительность ОУХО, то количество ХБП, подлежащих уничтожению, в сформированном массиве  $M_n$  будет соответствовать производительности  $P$ . Например, если выполняется условие операнда 10:  $N_{85} \geq P$ , то программой будет сформирован массив ХБП калибра 85 мм с рецептурой зарин, соответствующий количеству  $P$  ( $N_{85} = P$ ). Количество информационных массивов  $n$  будет зависеть от задаваемого запаса ХБП на складах ОУХО и на отоплении в терминале  $K_2 = K_1 + K_2$  (операнд 4), т. е.  $n(K_2)$ . Так, если на складах ОУХО и на отоплении погрузочного участка необходимо иметь по трёхсуточному запасу ХБП, то программа сформирует семь массивов ( $M_7$ ), количество ХБП в каждом из которых будет соответствовать производительности ОУХО (операнд 21), а номенклатурный состав определяться исходя из его наличия по приоритету рецептуры и калибра.

Если же запас выбранной номенклатуры ХБП ( $N_i$ ) не будет превышать производительность ОУХО, то программа добавит к нему недостающее количество ХБП другой номенклатуры, выборку которых произведёт в порядке, описанном выше (с приоритетом рецептуры и возрастания калибра), и сформи-

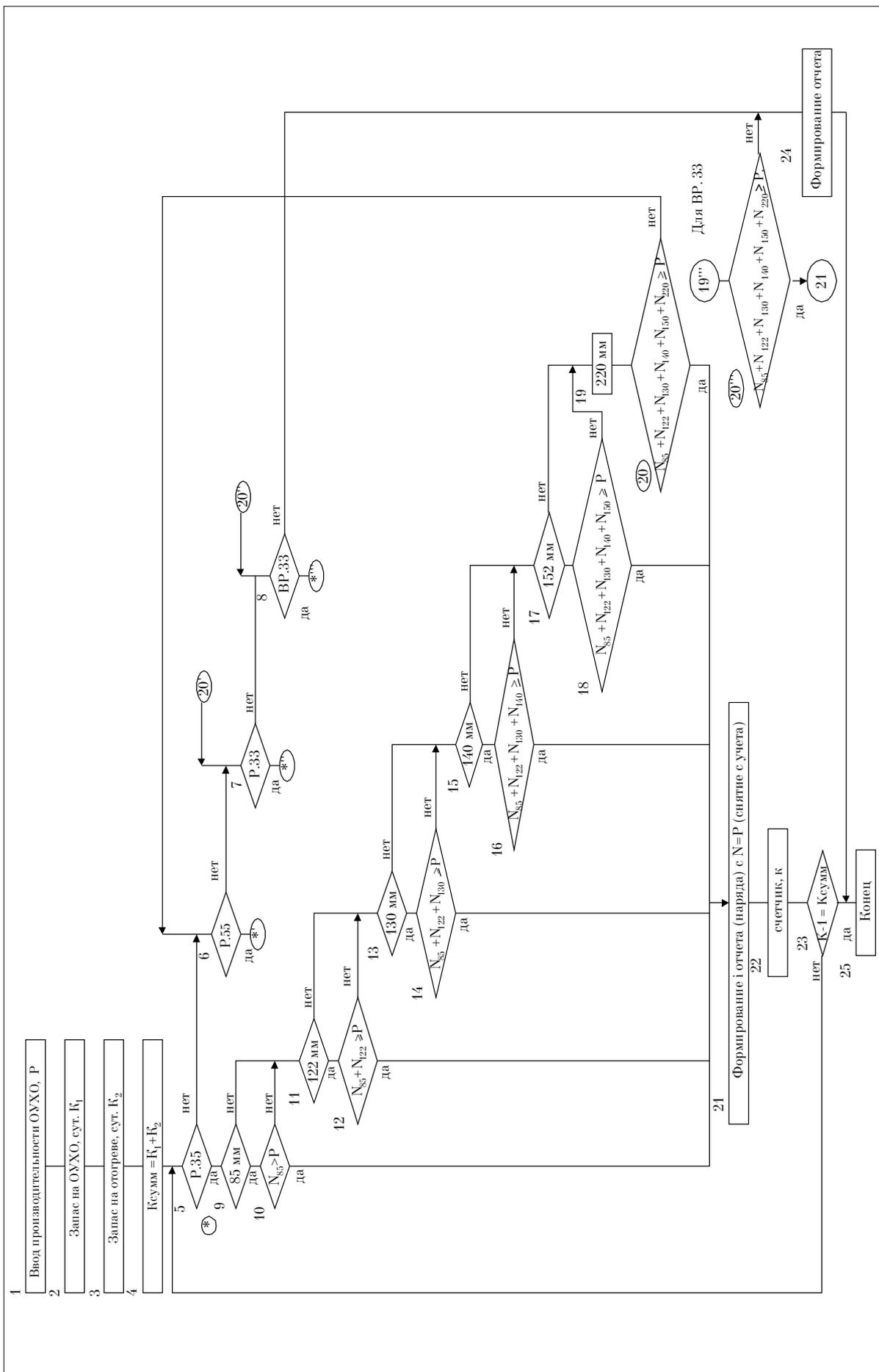


Рис. 2. Алгоритм программы расчёта вариантов доставки ХБП с ОУХО на ОУХО

рует массив  $M_n$  с количеством изделий, равным производительности (операнды 12, 14, 16, 18, 20 и 21). Таким образом, организуется цикл работы программы для всех рецептов по возрастанию калибра:

- зарин – операнды 9–20;
- зоман – операнды 9'–20';
- Ви-икс – операнды 9''–20'';
- «вязкий» Ви-икс – операнды 9'''–20'''.

Когда при выполнении операнда 20''' для рецептуры «вязкий» Ви-икс запас выбранной номенклатуры ХБП ( $N_i$ ) не будет превышать производительности ОУХО, то программа сформирует заключительный массив оставшегося запаса изделий, подлежащих отгрузке для утилизации.

Необходимо отметить, что при данном алгоритмическом обеспечении и наличии достаточных ресурсов и данных обеспечение информацией практически не будет иметь ограничений.

Реализация предложенного алгоритма в полном объёме возможна в качестве приложения к любой типовой системе управления базами данных. В этом случае алгоритм программы будет располагать возможностями проведения детализированного анализа данных с использованием статистических и математических методов и позволит осуществлять любое совершенствование информационного потока. Кроме того, система позволит осуществить решение практически любых задач по внесрочным запросам с проведением документального оформления и формированием соответствующего отчёта.

### Выводы

1. Для системы управления запасами ОУХО предпочтительнее выбрать систему управления запасами с фиксированным интервалом времени между заказами. Причём на ОУХО необходимо держать одновременно три комплекта суточной потребности ХБП, обеспечивающих бесперебойную работу ОУХО в случае сбоя в поставках в течение 2-х рабо-

чих дней. Кроме того, на ОУХО желательно иметь дополнительный объём склада, вмещающий один комплект ХБП, для компенсации поставок завышенного объёма или преждевременных поставок.

2. Разработанная на основе теории множеств методика позволяет оптимизировать структуру ТЦ, что выражается в последовательно-параллельном выполнении операций. Оптимизация ТЦ начинается с определения его основных операций.

3. Длительность ТЦ, рассчитанную по методике на основе теории множеств, необходимо корректировать с результатами оптимизации его структуры.

4. Созданные в данной работе алгоритмы могут быть использованы при выполнении расчётов, необходимых для разработки директивного техпроцесса транспортировки ХБП ствольной и реактивной артиллерии с ОХХО на ОУХО.

### Литература

1. Федеральная целевая программа «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации», утверждённая постановлением Правительства Российской Федерации от 21 марта 1996 г. № 305.
2. Конвенция о запрещении разработки, производства, накопления и применения химического оружия и о его уничтожении, принята в Женеве 13 января 1993 г.
3. Логистика. М.: Инфра-М, 1997. 327 с.
4. Цыпкин А.Г. Справочник по математике. М.: Наука, 1988. 432 с.
5. Козаков И.Е., Артемьев В.М., Бухалев В.А. Анализ систем случайной структуры. М.: Физико-математическая литература, 1993. 272 с.
6. Отчёт в/ч 74889 МО РФ «Разработка технических требований процессу подготовки и доставки боеприпасов с объекта хранения на объект уничтожения химического оружия 1597». Рыбинск. 2004.
7. Отчёт о НИР «Проведение комплекса экспериментально-теоретических исследований по научно-техническому сопровождению работ пуска и ввода в эксплуатацию объекта 1597 в 2007 году». М.: ФГУП «ГосНИИОХТ», 2007.