

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДВОЗА ВОДЫ ПРИ СЛОЖНЫХ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОЖАРАХ

С. А. Шипицын, ГУ МЧС России по Томской области.

А. Н. Иванов, кандидат технических наук, доцент;

А. С. Поляков, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ. Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Рассмотрена математическая модель процесса подвоза воды, позволяющая оптимизировать потребность в пожарных автоцистернах, необходимых для тушения пожаров на скважинах нефтегазовых промыслов с учетом их тактико-технических характеристик, наличия подготовленных мест заполнения цистерн водой, дальности подвоза и величины создаваемых запасов воды. Приведена номограмма для расчета параметров процесса подвоза воды, включая отведенное на это нормативное (директивное) время.

Ключевые слова: пожар, вода, тушение, модель

WATER TRANSPORTATION MODELING UNDER CONDITION OF A COMPLICATED AND PROLONGED FIRE

S. A. Shipitsyn, Head in Headquarters of the Russian Ministry of Emergency in Tomsk region.

A. N. Ivanov; A. S. Polyakov. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

In order to extinguish a fire at oil and gas wells it's necessary to have a considerable amount of water, which is impossible to set up for a number of reasons. For that reason one has to transport water when extinguishing a fire and it presents a lot of problems due to the lack of means and forces. There was considered a mathematical model of water-transportation that would allow to optimize the wants of fire water-tankers for this purpose with due regard for their performance characteristics, the presence of equipped places for filling water-tanks at water sources, the transportation distance and the amount of water laid in stock. A nomogram is attached for calculating parameters of water transportation including the standard (directory) time allotted for that.

Key words: fire, transportation, water, suppression, model

При недостатке воды на месте пожара руководитель тушения (РТП) обязан организовать бесперебойную подачу ее с удаленных водоисточников путем перекачки пожарными машинами или подвоза автоцистернами [1, 2].

Именно такая ситуация характерна для кустовых площадок нефтегазовых месторождений, где каждая аварийная ситуация может перейти в открытое фонтанирование скважины с последующим возгоранием. Через 15–30 мин после воспламенения фонтана металлоконструкции в зоне пламени теряют несущую способность, деформируются и загромождают устья скважин, что с течением времени может привести к изменению вида фонтанирования, состава струи или дебита, и повлиять на выбор способа тушения. Пожар на кусте скважин приводит к более тяжелым последствиям из-за близкого расположения устьев. При затяжных пожарах на нефтегазовых месторождениях создаются искусственные водоемы, вместимость которых должна обеспечивать бесперебойную работу подразделений в течение светлого времени суток и пополнение запаса воды, необходимого для защиты людей в опасной зоне, тушения фонтана и защиты соседних скважин, механизмов и оборудования [3, 4].

Расчеты показывают, что для нефтегазовых месторождений Томской области на тушение компактного фонтана требуется запас воды в пределах 1200–1500 м³, на распыленный фонтан – до 2200–2900 м³.

Для определения требуемого количества автомобильных цистерн $N_{АЦ}$ на подвоз расчетного количества воды при тушении пожаров рекомендуется использовать зависимость [2]:

$$N_{АЦ} = \frac{2\tau_{СЛ} + \tau_{ЗАП}}{\tau_{РАСХ}} + 1, \quad (1)$$

где $\tau_{СЛ}$ – время следования автоцистерны от места пожара к источнику воды и обратно;
 $\tau_{ЗАП}$ – время наполнения емкости автоцистерны водой; $\tau_{РАСХ}$ – время расходования воды на месте пожара.

Анализ зависимости (1) показывает, что она справедлива для обычных условий работы в населенных пунктах при заранее известных и оборудованных источниках воды и коротких величинах путей подвоза. Однако для случая создания больших запасов воды, необходимых для тушения горящих нефтегазовых скважин, она недостаточно хорошо согласуется с практикой. Это объясняется тем, что помимо трех величин времени в уравнении (1), определяющими процесс подвоза, являются и другие факторы:

- величина требуемого запаса воды V и время T , отведенное на его создание;
- вместимость $V_{АЦ}$ и количество $N_{АЦ}$ используемых автоцистерн для подвоза воды;
- количество ($K_{АЦ}$) оборудованных мест одновременного забора воды из источников

для обеспечения независимого (параллельного) заполнения нескольких автоцистерн.

Рассматриваемая задача не является абсолютно новой. Описание и решение некоторых аналогичных задач дано в публикациях [5–10]. Наиболее близкими по сущности рассматриваемых процессов являются работы [5–7], где продолжительность T процесса подвоза больших количеств жидкости со склада и подачи ее потребителю является функцией восьми величин, и, следовательно, математическая модель, приведенная в [5, 6] и описывающая этот процесс, является более совершенной, адекватной практике. В ней содержится только две величины, нехарактерные для подвоза воды на пожар: время отстоя жидкости в автоцистерне и поправка (минус единица), отражающая отсутствие необходимости заправки автоцистерн в конце выполнения задачи. Эти величины во внимание могут не приниматься, поскольку не влияют на сущность метода оценки времени, необходимого для создания запасов. С учетом этого замечания, известная модель [5, 6] адаптирована нами к условиям боевых действий пожарных подразделений в следующем виде:

$$T = \frac{\alpha \cdot \tau_{ЗАП}}{N_{АЦ}} + \tau_{ЗАП} \frac{N_{АЦ}}{K_{АЦ}} + \beta \tau_{ЗАП}, \quad (2)$$

где

$$\alpha = \frac{V}{V_{АЦ}} \cdot (\tau_{РАСХ} + \tau_{ЗАП} + 2\tau_{СЛ} + \tau_{СВ}), \quad (3)$$

$\tau_{СВ}$ – время свертывания автоцистерны после заполнения водой (принимается по паспортным данным);

$$\beta = \frac{\tau_{ЗАП} + \tau_{СВ}}{\tau_{РАСХ}},$$

$$\tau_{ЗАП} = \frac{V_{АЦ}}{Q_{ЗАП}},$$

$Q_{ЗАП}$ – производительность заполнения автоцистерны на источнике воды (принимается по паспортным или опытным данным);

$$\tau_{РАСХ} = \frac{V_{АЦ}}{Q_{РАСХ}},$$

$Q_{РАСХ}$ – производительность опорожнения автоцистерны в месте сосредоточения запасов воды (принимается по паспортным или опытным данным);

$$\tau_{СЛ} = \frac{L}{v},$$

L – длина маршрута доставки воды от ее источника до места сосредоточения запасов (принимается по данным дислокации объектов); \bar{v} – средняя скорость движения автоцистерн по маршруту (принимается по опытным данным, для внутренних промышленных дорог – 40 км/ч).

В уравнении (2) главной составляющей является первое слагаемое, определяющее величину затрат времени на транспортную работу автоцистерн по доставке требуемого запаса воды V . Второе слагаемое – по величине меньше первого, но тоже – существенно, и отражает величину затрат времени на заполнение цистерн у водозабора. Очевидно, что при условии $N_{АЦ} = K_{АЦ}$ значение этого слагаемого будет минимальным, но выполнение его требует излишних затрат на оборудование пунктов заполнения автоцистерн водой и может оказаться излишним ввиду неравномерности движения автоцистерн по дорогам. Значения $N_{АЦ} > K_{АЦ}$ ведут к увеличению длительности процесса за счет простоя автоцистерн у источника воды, а $K_{АЦ} > N_{АЦ}$ – бессмысленны. Анализ уравнения (2) на оптимум по переменной $N_{АЦ}$ показал, что имеется минимум T при соотношении $N_{АЦ} = \sqrt{\alpha \cdot K_{АЦ}}$. По переменной $K_{АЦ}$ анализируемая функция минимума не имеет. Опытная проверка подтверждает, что оптимальное соотношение величин равно $K_{АЦ} \approx (0,5-0,6) N_{АЦ}$.

Величиной β ($\beta \cong 1$) при расчетах можно пренебречь, поскольку (согласно техническим характеристикам автоцистерн): $\tau_{ЗАП} \cong \tau_{РАСХ}$; $\tau_{СВ} \ll \tau_{ЗАП}$, и, следовательно, β существенно меньше α .

Выразив время T , отведенное на создание запасов воды, через значение $\tau_{ЗАП}$, можно расчеты упростить, и в дальнейшем проводить их с помощью графика, построенного по полученным зависимостям (2), (3) и известным правилам создания номограмм [11]. Фрагмент номограммы (в малой области значений α) представлен на рис.1, где по оси ординат отложена относительная длительность процесса доставки воды, нормированная по величине $\tau_{ЗАП}$:

$$\bar{T} = \frac{T}{\tau_{ЗАП}}. \quad (4)$$

Прием нормирования длительности процесса подвоза воды (8) даёт возможность применить полученные безразмерные зависимости (рис.1) для любого типа автоцистерн и решения нескольких видов практических задач. Алгоритмы пользования номограммой даны на рис. 2, где порядок действий указан стрелками, но в любом из рассматриваемых случаев первоначально необходимо выполнить расчеты по зависимостям (3) и (4). Согласно рис. 2, а видно, что по величине планируемого объема подвоза воды (по заданному значению α_3) и известному количеству оборудованных мест $K_{АЦ}$ заполнения автоцистерн на источнике водоснабжения можно вычислить необходимое для этого количество $N_{АЦ}$ автоцистерн. На рис. 2, б, исходя из директивного времени на выполнение подвоза, показано, как следует

вычислить необходимое для этого количество $N_{АЦ}$ автоцистерн. Обозначения величин на номограмме даны по тексту.

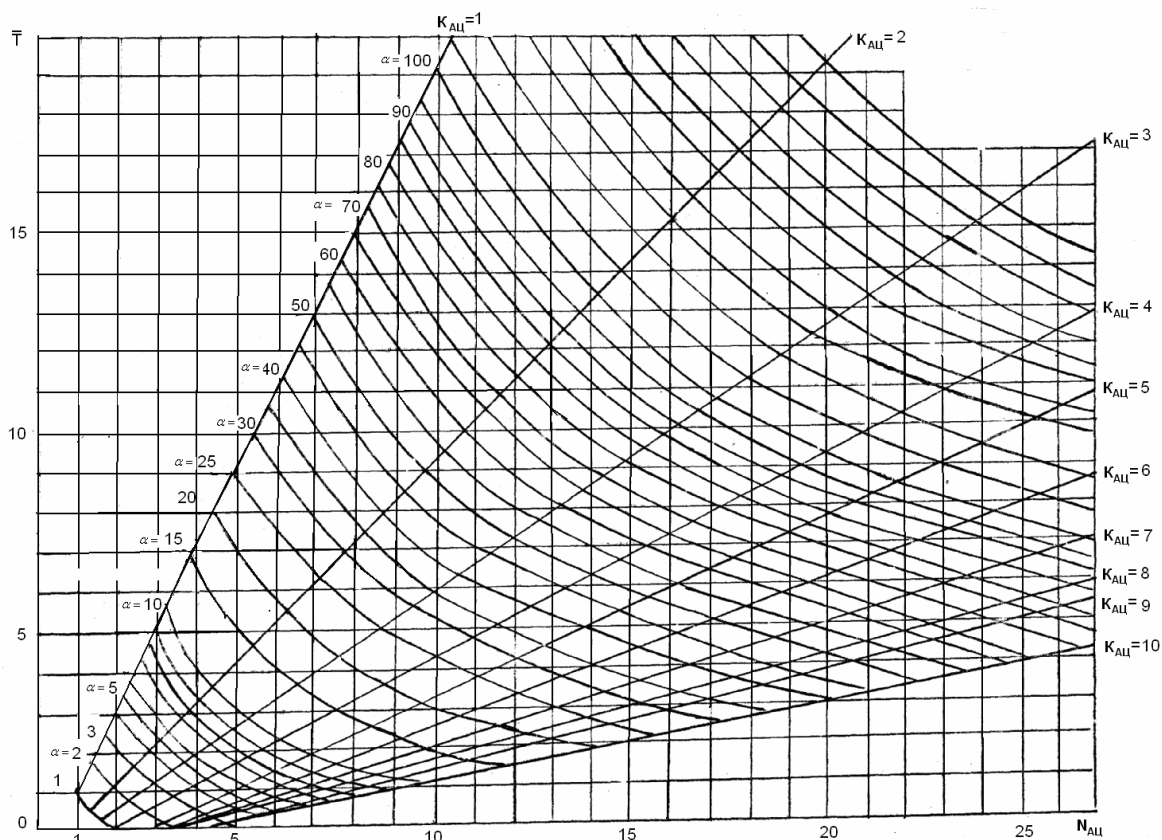


Рис.1. Номограмма для расчета показателей процесса подвоза воды (обозначения величин соответствуют тексту)

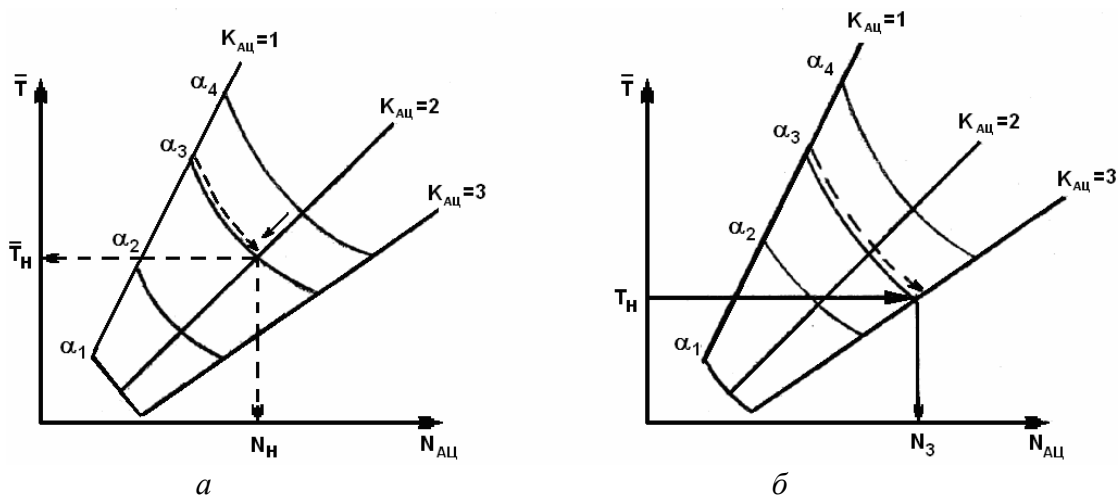


Рис.2. Алгоритмы пользования номограммой:

a – по расчетным (заданным) значениям величины α_3 и имеющемуся наличию оборудованных мест заполнения автоцистерн водой $K_{АЦ}$ находят необходимое для этого количество автоцистерн N_H и условное время \bar{T}_H выполнения заданного объема работы по подвозу воды;

\bar{b} – по расчетным (заданным) значениям величины α_3 и директивного (заданного) условного значения времени \bar{T}_H на выполнение заданного объема работы по подвозу воды находят необходимое для этого количество автоцистерн N_3 и оборудованных мест заполнения автоцистерн водой $K_{АЦ}$

Рассмотренная модель подвоза воды может применяться не только для условий стационарности, но и в условиях быстро изменяющейся обстановки на пожаре. В этом случае РТП должен пропорционально распределить необходимый (подлежащий подвозу) запас воды V между разнородными типами автоцистерн (согласно их техническим возможностям) и далее пользоваться приведенными графиками. Но более всего изложенная методика приемлема и необходима для заблаговременной оценки существующих планов подвоза воды и внесения корректив в планы технического прикрытия КВО.

Литература

1. Боевой устав пожарной охраны. – М., 1995.
2. Повзик Я. С. Справочник руководителя тушения пожара. – М.: ЗАО «Спецтехника», 2001.
3. Повзик Я. С. Пожарная тактика. – М.: ЗАО «Спецтехника», 1999.
4. СТО Газпром РД 1.2-094-2004 (Согласовано Ростехнадзором от 20.07.2003 № 10-03/800).
5. Поляков А. С. Сокращение сроков заправки горючим летательных аппаратов. Указатель новых поступлений литературы в открытый фонд ЦИВТИ МО. – 1972. – Сер. Б. – № 7.
6. Рыбаков К. В., Поляков А. С. Заправка автомобилей в полевых условиях. – М.: Транспорт, 1976.
7. Поляков А. С., Квашнин Б. С. Оптимальный параметрический ряд автотопливозаправщиков для летательных аппаратов. Указатель поступлений информационных материалов ЦИВТИ МО. – 1985. – Вып. 3. – Сер. Б.
8. Пирогов Ю. Н., Сыроедов Н. Е. Моделирование процесса функционирования автотопливозаправщиков на аэродромах базирования // Тр. 25 ГосНИИ МО РФ. – 2006. – Вып.53.
9. Григорюк В. Ф. Оптимизация взаимодействия пунктов погрузки и выгрузки вагонов. – М.: Транспорт, 1986.
10. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков. – М.: Транспорт, 1966.
11. Хованский Г. С. Номография сегодня. – М.: Знание, 1987.