

И.В. Минин

РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕМ ЗАВОДЕ

Статья посвящена феномену повышенной опасности предприятий нефтеперерабатывающей промышленности, и в частности анализу технологического риска как одному из способов прогнозирования развития чрезвычайных ситуаций. Проведен обзор современных разработок в области количественного анализа технологического риска при помощи вероятностных моделей. Представлена научная проблема создания модели прогнозирования и развития чрезвычайной ситуации. Рассмотрены задачи создания автоматизированной системы прогнозирования развития чрезвычайной ситуации на нефтеперерабатывающем заводе.

Нефтепереработка, чрезвычайные ситуации, прогноз, обзор.

Предприятия нефтеперерабатывающей промышленности, играющие важную роль в экономике страны, представляют один из главных источников пожаро- и взрывоопасности, а также напряженной техногенной и экологической обстановки. Повышение безопасности объектов нефтеперерабатывающих производств является основным способом предотвращения угроз техногенного характера. За последние 60 лет произошел ряд аварий в химической и нефтеперерабатывающей промышленности, вызвавших озабоченность и тревогу у общественности. Эти аварии сопровождались пожарами, взрывами и выбросами токсичных веществ. В некоторых из них погибли сотни и тысячи человек [3]. Основную опасность представляют аварии с образованием зон взрывоопасных (и/или токсичных) концентраций (17,9 %), пожары (58,5 %) и взрывы (15,1 %), прочие опасные ситуации (8,5 %) [3]. Именно поэтому проблема безопасности и живучести высокорисковых систем стала объектом пристального внимания специалистов практически всех областей науки и техники и требует создания фундаментальной базы анализа и обоснования безопасности таких систем. Комплексность проблемы безопасности высокорисковых объектов предполагает привлечение подходов механики, физики и химии катастроф как в детерминированной, так и в вероятностно-статистической постановке.

Анализ риска потенциальных аварий на высокорисковых объектах — одна из ключевых проблем, связанных с обеспечением промышленной безопасности. Применение методологии анализа риска, в том числе при декларировании промышленной безопасности, страховании ответственности и имущества предприятий, требует создания подходов, учитывающих специфику производственных объектов. Рассмотрим технологические риски на примере установки электрообессоливания и атмосферной перегонки нефти.

Сырая нефть из одного из резервуаров товарно-сырьевого парка (ТСП) подается на блочную нефтеперерабатывающую установку (БНПУ) сырьевыми насосами. Для ускорения процесса обезвоживания и обессоливания в поток сырой нефти после сырьевого насоса подается реагент-деэмульгатор. Сырая нефть первоначально подается на блок кожухотрубчатых теплообменников для подогрева, а затем, после добавления пресной воды, в электродегидратор для обессоливания.

Под воздействием электростатического поля и поля сил тяжести основная масса воды отделяется из нефти и отводится. Обессоленная и обезвоженная

нефть отводится из электродегидратора и дополнительно подогревается в теплообменниках. Горячая нефть после теплообменников направляется для дальнейшего нагрева в поточную печь огневого нагрева. Газ на горелки печи подается из блока подготовки топливного газа. Печь оснащена дополнительными змеевиками для выработки перегретого пара. Под давлением пар поступает в змеевики печей из котельной и в перегретом виде подается в кубы атмосферной и отпарной колонны.

После нагрева в печи поток нефти подается в атмосферную ректификационную колонну. Пары нефти поднимаются на верхние тарелки, где контактируют с жидкостью, стекающей в виде флегмы с вышележащих тарелок колонны. В результате многократного контакта паров и жидкости — флегмы на тарелках происходит разделение нефти на фракции. Неиспарившаяся часть нефти перетекает по тарелкам в низ колонны — куб, куда подается перегретый в печи водяной пар. Пар необходим для дополнительной отпарки нефтяного остатка-мазута от остатков светлых фракций.

Мазут из куба колонны откачивается насосом через клапан по уровню в кубе. Мазут насосом прокачивается последовательно через теплообменники и отводится в резервуары товарно-сырьевого парка.

Пары воды, легких фракций нефти и газы отводятся с верха колонны и направляются по шлемовой трубе в конденсатор-холодильник воздушного охлаждения. В воздушном холодильнике парогазовый поток охлаждается потоком воздуха, подаваемого вентилятором, и основная часть паров конденсируется. Температура конденсации регулируется за счет байпасирования части парового потока через клапан. Газожидкостный поток подается в рефлюксную емкость, где происходит отделение неконденсированных паров — углекислого газа и жидкости-дистиллята. Углекислотный газ из рефлюксной емкости через клапан направляется в узел осушки газа или напрямую в факельный сепаратор для сжигания на факеле.

Углекислотный газ из рефлюксной емкости поступает в сепаратор узла осушки газа. Дистиллят — бензиновая фракция из рефлюксной емкости откачивается насосом. Одна часть бензиновой фракции через клапан подается в качестве орошения на двадцать девятую тарелку колонны. Другая часть бензиновой фракции направляется в воздушный холодильник, где охлаждается и отводится в резервуары товарно-сырьевого парка. После воздушного холодильника поток бензина направляется в водяной холодильник для дополнительного охлаждения. Фракция дизельного топлива отбирается с глухой двенадцатой тарелки ректификационной колонны и подается на верхнюю четвертую тарелку отпарной колонны. Для достижения требуемой ГОСТ температуры вспышки дизельного топлива под первую тарелку отпарной колонны подается перегретый в печи водяной пар. Пары легких фракций вместе с водяным паром с верха отпарной колонны возвращаются под шестнадцатую тарелку колонны.

Из куба отпарной колонны дизельное топливо прокачивается насосом. Часть дизельного топлива возвращается в колонну для создания циркуляционного орошения.

Другая часть дизельного топлива доохлаждается в воздушном холодильнике и выводится в резервуары товарно-сырьевого парка. Для доведения дизельного топлива до товарной кондиции в поток подаются присадки посредством дозирующего насоса.

Представим технологический процесс в виде схемы (рис.).

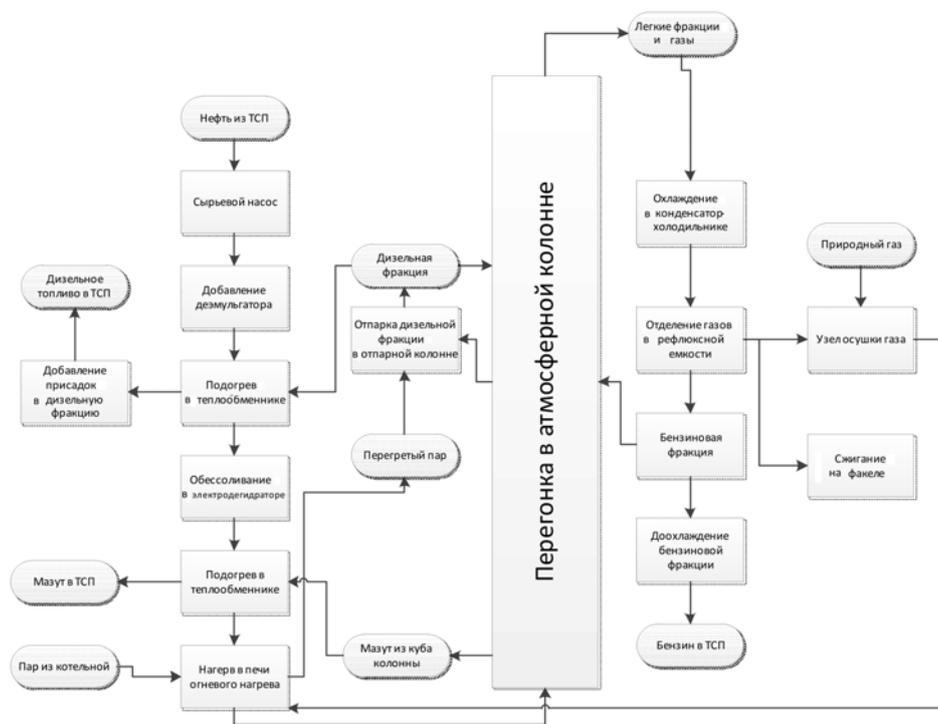


Рис. Схема технологического процесса

Данное нефтеперерабатывающее производство является объектом техногенной опасности, т.е. объектом, на котором хранят, перерабатывают, используют или транспортируют опасные химические вещества, при аварии на котором или при разрушении которого может произойти гибель или химическое заражение людей, сельскохозяйственных животных и растений, а также химическое заражение окружающей среды.

В состав предприятия нефтепереработки входят как площадочные опасные производственные объекты (насосы, емкости, колонны, печь), так и линейные (различные трубопроводы). Возможны различные сценарии аварийных ситуаций: взрывы печей, колонн перегонки, разрывы трубопроводов, пожары как следствие взрывов.

Согласно ГОСТ Р 22.1.01-95 [2] система мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций должна состоять из следующих основных элементов:

- организационной структуры;
- общей модели системы, включая объекты мониторинга (в случае нефтеперерабатывающего завода (НПЗ)) — возможность развития техногенных ЧС согласно терминологии ГОСТ Р 22.0.05-94 [3];
- комплекса технических средств;
- моделей ситуаций (моделей развития ситуаций);
- методов наблюдений, обработки данных, анализа ситуаций и прогнозирования;
- информационной системы.

Для прогнозирования возникновения чрезвычайной ситуации на данном объекте можно воспользоваться теорией рисков. Классический подход к

прогнозу риска заключается в оценке его показателей на некоторый интервал времени в будущем различными методами.

Наиболее современной и развитой является концепция приемлемого риска, основанная на вероятностном анализе безопасности (ВАБ). В основу подхода ВАБ положен эмпирический факт, что никакая деятельность не может быть полностью безопасной, т.е. достичь абсолютной безопасности невозможно. В связи с этим при данном подходе отправной точкой в анализе безопасности становится понятие риска, связанного с данной технологией, и уровня приемлемого риска, обусловленного экономическими и социальными факторами [4].

Технический риск — это возможность происшествия (инцидента, аварии, катастрофы) на объекте техносферы, связанного с негативными последствиями [4]. В работе [7] предложен оригинальный метод количественной оценки риска путем построения вероятностной модели на базе логико-графической модели анализа риска без учета временной составляющей. Прогноз развития и возникновения аварийной ситуации осуществляется при помощи логико-графических вычислений, по результатам которых определяется вероятность развития той или иной ситуации, что дает возможность сразу производить ранжирование ситуаций по значимости. В связи с тем что атмосферная перегонка нефти является непрерывным производством, возможно применение вероятностной модели оценки риска для непрерывных химико-технологических систем [7]. Рассмотрим модель количественной оценки риска в вероятностном выражении. Вероятность возникновения j -й аварийной ситуации (S_j) от o -го отказа определяется по соотношению

$$P_j = 1 - \prod_{o=1}^O (1 - P_{jo}), j = \overline{1, M}, \quad (1)$$

где P_j — вероятность возникновения o -х отказов, приводящих к j -й ситуации; M — количество ситуаций; O — число эксплуатационно-технологических отказов, вызванных различными причинами и приводящих к j -й аварийной ситуации.

Для каждой аварийной ситуации, развивающейся по многоуровневому сценарию, определяются вероятности того, что j -я аварийная ситуация приведет к одному из i -х факторов риска одного уровня по следующему соотношению:

$$F_{ij} = 1 - \sum_{l=1}^{N-1} F_{lj}, l \neq i, i = \overline{1, N}; j = \overline{1, M}, \quad (2)$$

где F_{ij}, F_{lj} — вероятности возникновения i -го или l -го факторов риска одного уровня от j -й аварийной ситуации.

Вероятность того, что возникший i -й фактор риска от j -й ситуации F_{ij} приведет к дальнейшему развитию аварии по g -му сценарию для любого i' -го уровня ($i = \overline{1, I'}$) развития аварии ($E_{i'gij}^k$), определяется по соотношению

$$E_{i',gij}^k = 1 - \sum_{g=2}^G E_{i'g-1ij}^k, i' = \overline{1, I'}, \quad (3)$$

где I' — количество уровней развития аварии от i -го фактора; G — количество возможных сценариев развития аварии от i -го фактора и j -й

аварийной ситуации. Индекс i'_g характеризует номер уровня для g -го сценария развития аварии. От одного фактора риска (F_{ij}) различные сценарии развития аварии ($g = \overline{1, G}$) могут содержать различное количество уровней.

Вероятность возникновения k -го вида риска от j -й аварийной ситуации, i -го фактора риска, вызвавшего многоуровневое развитие аварии ($i = \overline{1, I}$) по g -му сценарию (R_{ijg}^k), определяется по соотношению

$$R_{ijg}^k = P_j F_{ij} \prod_{i=1}^{I'} E_{i'_g ij}^k, k = \overline{1, K}; g = \overline{1, G}, \quad (4)$$

где K — число видов риска (экологический, экономический и социальный).

Соотношения (1)–(4) используются для ранжирования сценариев по степени их опасности с точки зрения риска возникновения аварии и ее развития.

Вероятность возникновения k -го вида риска в j -й ситуации от i -го фактора при всех g -х сценариях его развития определяется по соотношению

$$\forall j = \overline{1, M}, \forall i = \overline{1, N}: R_{ij}^k = P_j \sum_{g=1}^{G_i} \left(F_{ij} \prod_{i'=1}^{I'} E_{i'_g ij}^k \right), k = \overline{1, K}, \quad (5)$$

где G_i — сценарии развития аварии от i -го фактора риска.

Вероятность возникновения k -го вида риска в j -й ситуации от всех факторов риска определяется как

$$\forall j = \overline{1, M}: R_j^k = \sum_{i=1}^N R_{ij}^k, k = \overline{1, K}. \quad (6)$$

Вероятность того, что риск k -го вида обязательно возникнет при реализации хотя бы одной ситуации:

$$R^k = 1 - \prod_{j=1}^M (1 - R_j^k), k = \overline{1, K}. \quad (7)$$

Вероятность возникновения k -го вида риска от i -го фактора от любой j -й ситуации при последовательном развитии аварии определяется по соотношению

$$R_i^k = \sum_{j=1}^M R_{ijg}^k, g = \overline{1, G'}; G' \in G; i = \overline{1, N'}; N' \in N, \quad (8)$$

где R_{ijg}^k определяется по соотношению (4); N' — число факторов риска, которые могут возникнуть от j -й ситуации; G' — количество сценариев развития i -го фактора риска от j -й ситуации.

Вероятность того, что риск k -го вида возникнет при реализации хотя бы одного фактора риска, определяется по соотношению

$$R^k = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - R_i^k), k = \overline{1, K}, j = \overline{1, M}. \quad (9)$$

В работе [5] рассмотрен классический вероятностный подход к анализу риска. Вероятность возникновения аварийного состояния $Q_{ij}(t, a)$ в интервале времени $|t, t + dt|$ для отдельного иницирующего случая (ИС) выражается следующей формулой:

$$dQ_{ij}(t, a) = \Lambda_i(t)F_{ij}(t, t_p)P_{ij}(t, a)dt, \quad (10)$$

где $\Lambda_i(t)$ — интенсивность i -го ИС; $F_{ij}(t)$ — вероятность невыполнения j -й функции безопасности при возникновении i -го ИС; $P_{ij}(t, a)$ — вероятность того, что аварийное состояние с последствиями типа $[a]$ не возникло до момента времени t ; t_p — время выполнения функции безопасности после возникновения исходного события. Обычно предполагается, что $\Lambda_i(t) = \text{const}$ на рассматриваемом периоде времени эксплуатации. В этом случае

$$Q_{ij}(T, a) = \Lambda_i \int_0^T F_{ij}(t, t_p) dt. \quad (11)$$

$Q_{ij}(T, a)$ используется в качестве основного вероятностного показателя безопасности.

Отмечено, что одинаковые по виду и размерам аварийные последствия могут возникать при реализации отдельных ИС вследствие невыполнения различных функций безопасности или одинаковых функций безопасности. Поэтому в качестве комплексных вероятностных показателей безопасности (ВПБ) используются вероятности реализации аварийных последствий определенного вида и размеров при возникновении отдельных ИС и суммарные по всем ИС вероятности таких аварийных последствий, определяемые по формулам полных вероятностей:

$$Q_i(T, a) = 1 - \prod_{j=1}^{m_i} [1 - Q_{ij}(T, a)] \approx \sum_{j=1}^{m_i} Q_{ij}(T, a), \quad (12)$$

$$Q(T, a) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - Q_i(T, a)] \approx \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} Q_{ij}(T, a), \quad (13)$$

где $Q_i(T, a)$, $Q(T, a)$ — вероятности возникновения аварийных последствий определенного вида и размера $[a]$ на рассматриваемом интервале времени $[0, T]$ эксплуатации объекта соответственно для отдельных и полных перечней ИС; m_i — число аварийных состояний типа $[a]$, возникающих вследствие невыполнения функций безопасности при i -м ИС; n — число ИС.

Рассмотренные модели требуют доработки с учетом конкретного объекта. Так, для данного НПЗ необходима переоценка логико-графической модели в связи с технологическими особенностями и особенностями месторасположения. Эта необходимость приводит к появлению научной проблемы создания модели прогнозирования и развития чрезвычайной ситуации для нефтеперерабатывающего завода.

Проблематика исследования выявляет задачи разработки:

- 1) моделей возникновения и развития ЧС для нефтеперерабатывающего завода;
- 2) алгоритмов моделирования процессов и развития ЧС;
- 3) алгоритмов прогнозирования состояния объекта;
- 4) метода и алгоритмов оценки эффективности управляющих воздействий по локализации и ликвидации ЧС;
- 5) метода и алгоритмов синтеза оптимальных решений по предупреждению возникновения ЧС;

6) методов автоматического создания математических моделей вычисления значений техногенного риска от эксплуатации нефтеперерабатывающего завода [3];

7) средств автоматизации, реализующих методы моделирования, синтеза и оптимизации алгоритмов управления в ЧС.

Решение поставленных задач имеет существенное значение для повышения эффективности информационного обеспечения и оперативности принятия решений в условиях чрезвычайной ситуации на нефтеперерабатывающем заводе.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 22.0.05-94. Техногенные чрезвычайные ситуации. 1996.
2. ГОСТ Р 22.1.01-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование. Основные положения. 1995.
3. *Маршалл В.* Основные опасности химических производств. М.: Мир, 1989. С. 672.
4. *Острейковский В.А.* Техногенный риск: Введение в теорию. Сургут: Издат. центр СурГУ, 2009. С. 62.
5. *Острейковский В.А., Швыряев Ю.В.* Безопасность атомных станций: Вероятностный анализ. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008.
6. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. М.: НТЦ по безопасности промышленности Госгортехнадзор России, 2002.
7. *Савицкая Т.В.* Системный анализ и управление безопасностью химических производств с использованием новых информационных технологий: Дис. ... д-ра техн. наук. М., 2004. 591 с.

I.V. Minin

The development of automation and forecast tools for cases of emergency at oil refineries

The article considers a phenomenon of the increased danger at oil refineries. Subject to consideration being a technological risk and its analysis as one of the ways to forecast the development of emergencies. The paper undertakes a review of modern achievements in numerical analysis of the technological risk, using stochastic models. The article presents a problem of creating a forecasting model for the development of emergency. Subject to consideration being problems of creation of an automated control system to forecast the development of emergency at oil refinery.

Oil refining, emergencies, forecast, review.