

УДК 614.8; 622.69

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЖИВУЧЕСТИ НЕФТЕГАЗОВЫХ ОБЪЕКТОВ

SIMULATION OF OIL&GAS INDUSTRIAL DURABILITY

Самигуллин Г. Х., Кутуков С. Е.

Санкт-Петербургский горный университет,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
Филиал НИИСПТнефть ООО «НИИ Транснефть»,
г. Уфа, Российская Федерация

G. Kh. Samigullin, S. E. Kutukov,

FSBEI HE “St. Petersburg State Mining University”,
Saint-Petersburg, the Russian Federation
NIISPTnaft branch, Transneft R&D, LLC ,
Ufa, the Russian Federation

Аннотация. В условиях нефтегазовых производств происходит образование и развитие коррозионных дефектов в бетонных и каменных конструкциях, в силу чего происходит потеря прочности и несущей способности бетонных и каменных конструкций.

Одно из основных требований к промышленной безопасности заключается в реализации состояния защищенности жизненноважных интересов личности и общества от аварий на опасных производственных объектах и от последствий техногенных аварий. В полной мере это относится к объектам нефтегазового комплекса, интенсивное развитие которых сопровождается укрупнением мощностей технологического оборудования и установок, повышением давлений и температур, увеличением концентрации взрывопожаро- и токсически- опасных веществ. Безаварийная эксплуатация опасных производственных объектов

нефтегазовых предприятий является сложной комплексной проблемой, требующей постоянного совершенствования применяемых средств и методов ее решения.

В статье предложена феноменологическая модель для оценки живучести железобетонных и каменных конструкций, объединяющая достоинства теории надежности и детерминистические модели, использующие положения механики катастроф, позволяющие определить, когда наступит предельный момент одного из контролируемых параметров технического состояния (прочность материалов, параметры армирования, глубина коррозии бетона, ширина раскрытия трещины и пр.), с учетом вероятностного дрейфа внешних условий нагружения и случайного характера распределения прочностных свойств конструкций.

Abstract. As the case stands of oil and gas mass production corrosive defects evolution in concrete and masonry constructions are happened, in consequence of that strength loss and bearing-capacity failure are occurred.

One of the main requirements for industrial safety is to implement the State of the personal vital protection and society against accidents at hazardous production facilities. This fully applies to objects of oil and gas complex, intensive development of which is accompanied by enlargement of the capacity of technological equipment and installations, higher pressures and temperatures, increases in the concentrations of bust-, flame- and toxic-hazardous substances. Safety operation of dangerous industrial objects of oil and gas enterprises is a complex multifaceted problem requiring continuous improvement tools and methods used for its solution.

There is a phenomenological model's been proposed for estimating durability of concrete and masonry construction. One combines merits of the reliability theory and the fracture mechanics doctrinals, that allows to estimate one of the extreme moment of a controlled variable: material strength, reinforcement mode, depth of concrete corrosion, fracture opening width in the

clear etc. It's estimated allowing for stochastic shift of ambient forces and random nature of constructive strength characteristics.

Ключевые слова: оценка риска, коррозионные дефекты, многофакторный анализ, теория надежности, коррозия бетонных и каменных конструкций.

Key words: risk level assessment, corrosive defects, multivariate analysis, reliability theory, corrosion of concrete and masonry construction.

Специфической особенностью большинства нефтегазовых объектов является наличие сложной пространственной структуры, что дает возможность учета этих структурных параметров для реализации системных запасов живучести конструкций. Формально большинство нефтегазовых объектов можно представить совокупностью элементов конструкций, имеющих между собой различные типы связей (механические, функциональные и т.д.), их можно отождествить со сложной, имеющей некоторое структурное строение технической системой, и соответственно, рассматривать как объекты, надежность и устойчивость функционирования которых может обеспечиваться с позиций живучести сложных технических систем [1].

Живучестью сложных технических систем принято называть способность системы выполнять предписанные ей функции после повреждения (или разрушения) ее отдельных элементов. В качестве наиболее общих показателей живучести используют [2]:

- 1) системные запасы прочности;
- 2) компенсационные характеристики;
- 3) характеристики интенсивности деградации.

Оценку состояния нефтегазовых объектов, имеющих локальные повреждения на основе критериев живучести, как правило, выполняют с применением двух классов моделей: вероятностных, с позиций теории надежности и детерминистических, использующих положения механики катастроф. Для моделирования живучести конструкций была разработана объединяющая оба перечисленных подхода феноменологическая модель [3], где основным моментом является использование принципа «единичного отказа», который не допускает наличия ключевых элементов, единичные повреждения которых приводят к отказу всей системы [4]. Первоначально все элементы системы находятся в равномерно-нагруженном состоянии. Начальное повреждение вызывает постепенный, в соответствии со скоростью процессов деградации, отказ элемента и он перестает функционировать, что вызывает перераспределение нагрузки на другие, необязательно соседние элементы.

Живучесть конструкции объекта будет обеспеченной, если начальное повреждение приводит только к локальному разрушению и не распространяется на другие элементы, которые впоследствии воспринимают возникающую дополнительную нагрузку. Отказом всей системы (например, разрушение совокупности конструкций либо обрушение некоторой части объекта) будет считаться момент возникновения ситуации, когда следующее единичное разрушение одного элемента инициирует непрерывную цепь разрушений [5].

В модели (рисунок 1) присутствуют два встречно направленных процесса: показатель прочности R для произвольно выбранного элемента должен снижаться (деградировать) в течение некоторого времени, а величина действующих в тоже время уровень нагрузок Q по мере выхода соседних элементов из строя - увеличиваться. Здесь живучесть будет характеризоваться убывающей величиной диапазона $\Delta = X_2 - X_1$, а заштрихованная область W – вероятность возникновения аварии.

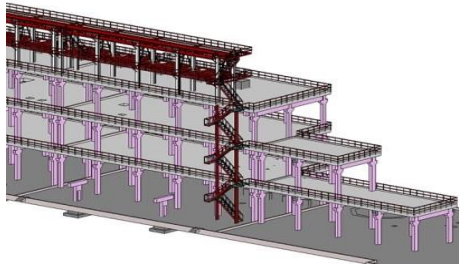


Рисунок 1. Графическая иллюстрация оценки запаса живучести

Принимая нормальный закон распределения для прочностных характеристик элементов системы R и для действующих на элементы нагрузок Q (например, собственный вес конструкций, вес технологического оборудования, температурное воздействие), можно оценить вероятность безотказной работы элементов производственных сооружений для некоторого момента времени [6].

Основные принципы моделирования можно проиллюстрировать на примере оценки живучести производственной многоуровневой этажерки для размещения технологического оборудования (рисунок 2). В модели используется следующая система обозначения элементов:

- X – исходное состояние элемента, живучесть 100%;
- v – живучесть элемента 75%;
- o – живучесть элемента 50%;
- $+$ – живучесть элемента 25%;
- Δ – отказ элемента.



а)

X	Δ	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	Δ

б)

+	Δ	+	○	v	v	v	v
+	+	+	○	v	○	○	○
○	○	○	○	v	○	+	+
v	v	v	v	v	○	+	Δ

в)

+	Δ	+	○	v	v	v	v
+	+	+	○	v	○	○	○
○	○	○	○	v	○	+	+
v	v	v	v	v	○	+	Δ

г)

+	Δ	+	○	○	○	v	○
+	+	+	○	○	○	○	○
○	○	○	v	○	○	+	+
○	○	v	○	○	○	+	Δ

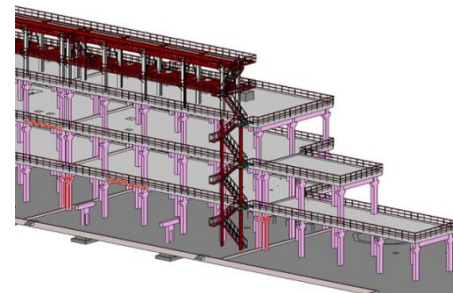
д)

+	Δ	+	○	○	○	+	○
+	+	+	○	+	○	○	○
○	+	+	Δ	○	○	+	+
○	+	Δ	+	○	○	+	Δ

е)

+	Δ	+	○	○	○	+	○
+	+	+	○	+	○	○	○
○	+	+	Δ	○	○	+	+
○	+	Δ	+	○	○	+	Δ

ж)



и)

Рисунок 2. Моделирование технического состояния производственной этажерки для размещения технологического оборудования:
 а) цифровая модель исходной этажерки; б) модельная матрица;
 в) перераспределение нагрузки Q (15...50%); г) накопление повреждений;
 д) снижение прочности R ; е) дрейф нагрузки Q ; ж) прогноз опасных зон;
 и) определение возможных дефектных зон объекта

Для моделирования технического состояния производственных сооружений наиболее удобная 3-х мерная матричная форма, в которой каждый элемент сооружения по геометрическому либо конструкционному признаку отождествляется с элементом матрицы [7]. На элементы конструкции, обладающие некоторой начальной несущей способностью $R = 100\%$, действует номинальная (расчетная) нагрузка $Q = 100\%$.

В исходном, неповрежденном состоянии, формируется матрица состояний, каждый элемент которой определяется как разность исходной несущей способности R и действующей номинальной нагрузки Q : $A_{i,j} = R_{i,j} - Q_{i,j}$. При отказе (100%-м повреждении) отдельных элементов сооружения их несущая способность R обнуляется, а воспринимаемая ранее нагрузка дискретно передается на другие элементы – соседний «слой» воспринимает 50 %, следующий – 35%, далее 15%. Например, для соседних с отказавшим элементом $Q_{ij} = 1,5 * Q_{ij}$, для второго «слоя» элементов $Q_{ij} = 1,35 * Q_{ij}$ и т.д. Таким образом, при «выходе из строя» некоторых элементов, оставшиеся работоспособные функционируют при повышенном уровне нагрузок Q .

В свою очередь, несущая способность элементов R , в соответствии с измерениями остаточной прочности $R_{ост}$ и скоростью ее деградации K_R снижается, $R_{ij} = R_{ij} - K_R$. При этом еще учитывается так называемый «дрейф» нагрузки – т.е. вероятное случайное отклонение от среднего значения Q на величину среднеквадратичного отклонения σ как в сторону уменьшения, так и в сторону ее увеличения: $Q_{ij} = Random(Q \pm \sigma)$. Оба процесса – повышение нагрузки на элемент Q после ее перераспределения и снижение несущей способности R с экспериментально определяемой скоростью деградации будут сокращать величину запаса живучести до момента наступления критического момента $A_{i,j} = 0$, когда наступает отказ элемента. Процесс расчета проводится до наступления момента, при котором образуется непрерывная цепь отказавших элементов, что будет эквивалентно аварийному разрушению рассматриваемой конструкции.

Выводы

Таким образом, предлагаемая модель по изменению запаса живучести, определяемой уровнем нагрузки Q и несущей способности R элементов производственных объектов нефтегазовых предприятий позволяет выявлять потенциально опасные места для проведения текущего контроля и мониторинга, производить прогнозирование технического состояния до наступления их предельного состояния. Моделирование позволяет прогнозировать развитие существующих дефектов и повреждений, что в последующем может быть использовано для проведения периодического контроля дефектных областей, обоснования длительности межремонтных периодов и сроков проведения периодических работ по регламентному обслуживанию производственных объектов.

Список используемых источников

- 1 Прочность, ресурс, живучесть и безопасность машин/ Махутов Н. А., Алгабачиев А. Ю., Алексеева С. И. и др. М.: Либроком, 2008. 576 с.
- 2 Лепихин А. М., Москвичев В. В., Доронин С. В. Надежность, живучесть и безопасность сложных технических систем / Вычислительные технологии. 2009. Т.14, № 6. С. 58-71.
- 3 Самигуллин Г. Х., Лягова А. А. Методика оценки степени опасности трещиноподобных дефектов в металлических конструкциях // Горный информационно-аналитический бюллетень: науч.-техн. журн. 2016. № 2. С. 99-106.
- 4 Кудишин Ю. И., Дробот Д. Ю. Методика расчета строительных конструкций на единичную живучесть: сб. науч. тр. междунар. симпозиума «Современные металлические и деревянные конструкции (нормирование, проектирование и строительство)». Брест: БРГТУ, 2009. С. 132-141.

5 Кузеев И. Р., Самигуллин Г. Х. Живучесть и ресурс производственных зданий и сооружений/ Под общ. ред. И. Р. Кузеева. СПб: «Лема», 2016. 59 с.

6 Сайт Минэнерго РФ. Режим доступа: http://www.minenergo.gov.ru/activity/oilgas/reestr_npz/

7 Самигуллин Г. Х., Дмитриев В. В. Повышение эффективности диагностики нефтехимического оборудования на основе модели структурного анализа // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. 2005. №1. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Samigullin/Samigullin_1.pdf.

References

1 Prochnost', resurs, zhivuchest' i bezopasnost' mashin/ Mahutov N. A., Algabachiev A. Yu., Alekseeva S. I. i dr. M.: Librokom, 2008. 576 s. [in Russian].

2 Lepihin A. M., Moskvichev V. V., Doronin S. V. Nadezhnost', zhivuchest' i bezopasnost' slozhnyh tehnikeskikh sistem / Vychislitel'nye tehnologii. 2009. T. 14, № 6. S. 58-71. [in Russian].

3 Samigullin G. H., Lyagova A. A. Metodika ocenki stepeni opasnosti treshinopodobnyh defektov v metallicheskih konstrukciyah // Gornyi informacionno-analiticheskii byulleten': nauch.-tehn. zhurn. 2016. № 2. S. 99-106. [in Russian].

4 Kudishin Yu. I., Drobot D. Yu. Metodika rascheta stroitel'nyh konstrukcii na edinichnuyu zhivuchest': sb. nauch. tr. mezhdunar. simpoziuma «Sovremennye metallicheskie i derevyannye konstrukcii (normirovanie, proektirovanie i stroitel'stvo)». Brest: BRGTU, 2009. S. 132-141. [in Russian].

5 Kuzeev I. R., Samigullin G. H. Zhivuchest' i resurs proizvodstvennyh zdaniy i sooruzheniy/ Pod obsh.red. I. R. Kuzeeva. SPb: «Lema», 2016. 59 s.

6 Sait Minenergo RF. Rezhim dostupa: http://www.minenergo.gov.ru/activity/oilgas/reestr_npz/ [in Russian].

7 Samigullin G. H., Dmitriev V. V. Povyshenie effektivnosti diagnostiki neftehimicheskogo oborudovaniya na osnove modeli strukturnogo analiza // Neftegazovoe delo: elektron. nauch. zhurn. 2005. №1. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Samigullin/Samigullin_1.pdf. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Самигуллин Г. Х., канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Транспорт и хранение нефти и газа», Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

G. Kh. Samigullin, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Chair “Transport and storage of oil and gas”. FSBEI HE “St. Petersburg State Mining University”, Saint-Petersburg, the Russian Federation

Тел. 89675622618

E-mail: samigullin_gch@spmi.ru

Кутуков С. Е., д-р техн. наук, доцент, главный научный сотрудник, Филиал НИИСПТнефть ООО «НИИ Транснефть», г. Уфа, Российская Федерация

S. E. Kutukov, Doctor of Engineering Sciences, Chief Researcher of Oil and Oil Products Transportation R&D Headquarter, NIISPTnaft branch, Transneft R&D, LLC, Ufa, the Russian Federation

Тел. +791757557402

E-mail: kutukov@gmail.com