

## ПРИЛОЖЕНИЕ НА ИКОНОМИЧЕСКИ СРЕДСТВА В МЕНИДЖМЪНТА НА РИСКА

**Любка Чанкова**

Технически университет – София  
1000, София, България

**Димитър Чанков**

Технически университет – София  
1000, София, България

### РЕЗЮМЕ

Рискът от отказ е важна част от различни аспекти в приложението на материалите и инженерните разработки. Като част от ефективния мениджмънт, оценките на риска са важно изискване за вземане на подходящи решения при поддръжката и ремонта. Чрез комбиниране на инженерни и финансови методи е възможно да се намери подходящото време за провеждане на ремонтните дейности. Представеният подход се базира на анализ на решението и е демонстриран чрез проблем за избор на подходящото време за инспекция и ремонт на едно X-тип тръбно заварено съединение.

### ВЪВЕДЕНИЕ

Рискът е присъща черта на ежедневиия живот на хората, които приемат риска, защото искат да постигнат своите цели. Еволюцията на човечеството засилва важността на мениджмънта на риска в индустрията. Рискът се отчита като неотделима част от процеса на проектиране на конструкции за постигането на зададена надеждност в зависимост от сериозността на отказите и на несигурността на входните данни [1,2]. Рискът е важен също и като основа за мениджърски решения относно инспекцията, ремонта и изследването на жизнения цикъл на инженерните конструкции и екипировка [1,3].

Методите за оценяване на риска днес са широко разпространени в електроцентралите, химическата индустрия, общомашиностроителната промишленост и др. Те са от особена важност в случай на тежки експлоатационни условия за някои части от екипировката. Финансово е неизгодно да се заменя цялата екипировка, само защото няколко части са излезли от строя. Съществуващата система за редовни инспекции/ ремонти не позволява достигане на най-добри финансови решения защото тя е изградена най-вече на инженерни изисквания. Намирането на пресечна точка между финансовите и инженерните изисквания е начинът за успех.

Цел на тази статия е да представи стратегии за избягване на риска и да се анализират възможностите за използване на процедури за мениджмънт на риска, за да се предскажат последствията от отказ, да се предложи един подход за определяне на времето за инспекция, базирано на анализ на финансовите разходи.

### ВРЪЗКА И ЗАВИСИМОСТ МЕЖДУ ИНЖЕНЕРИНГ И ФИНАНСИ

Мениджмънтът на риска е интердисциплинарна наука, която обхваща различни области, но често връзката между инженерните проблеми и финансите не е много ясна. Независимо, че ефектът от едно нежелано събитие обикновено се предава като финансов резултат, ключовата точка за разбиране на връзката между инженерните проблеми и финансите не се вижда лесно. Основната причина за това неразбиране е разликата между инструментите и дефинициите, които се използват от инженери и мениджъри. И двете групи търсят собствено решение на един проблем и не намират пресечна точка между своите цели [4].

Ограниченията в ресурсите на организацията правят трудно за инженерите да намират необходимите им средства за поддръжка на скъпа екипировка. Инженерите не успяват убедително да представят и докажат своите изисквания на тези, които вземат решения, а това обикновено са мениджърите, които искат да видят печалба. Проблемът възниква, тъй като инженерите нормално не се изразяват чрез финансови термини, а в резултати от инженерния анализ, като например, ресурс, разпространение на пукнатини и т.н. В допълнение инженерите трябва да се борят за средства за ремонт и поддръжка с други отдели от фирмата. Надпреварата за организационните ресурси обикновено се основава на количествени методи за финансов анализ и анализ на решенията.

Ограниченията в ресурсите за поддръжка се пораждаат от повишените разходи за поддръжка. По-високите изисквания към разходите за поддръжка идват от оборудването, което е вече остаряващо от гледна точка на жизнения му цикъл. Днес много компоненти, които работят в тежки условия, са или вече достигат до критичната

възраст от своя жизнен цикъл. Такива компоненти обикновено имат по кратък живот в сравнение с другите елементи от екипировката.

Една типична крива на жизнения цикъл е показана на фигура 1. Тя показва класическата форма на Вейбуловата крива на жизнения цикъл [2,5]. В лявата част степента на откази първоначално е висока и по-късно намалява. Тук се включват началните дефекти от проектиране и производство и поради това този период е познат като "детска смъртност". Централната част на кривата е периодът на живот с приблизително константна степен на откази. Дясната част на кривата е периодът на остаряване на конструкцията, и тя има експоненциално повишаване на

л  
чл  
иП  
ви  
нә  
нә  
иж  
әэ  
du  
иП  
эх  
Pa



Възраст на изделието

степената на откази поради специфични за материала механизми на откази, като например умора на материалите, разпространение на пукнатини, износване и натрупване на пластична деформация. Кривата се използва да опише живота на почти всички инженерни компоненти.

Фигура 1. Крива на жизнения цикъл

Мениджърите на индустриалните фирми са изненадани от голямото нарастване на разходите за ремонт за компоненти от констукции, които вече са във фазата на остаряване от жизнения цикъл. Съществува мнение, че ако по време на периода с постоянна степен на откази се извършва редовна поддръжка, то степента на откази няма да нарастне значително.

Ограничението в ресурсите на организацията се причинява от понижаването на цените на продукцията произвеждана от остаряваща екипировка. Динамиката на днешния пазар е резултирала в използване на стратегия на ниските цени, за да може да се победи конкуренцията.

Мениджърските решения са много трудни, защото от една страна има ограничение на ресурсите породено от ниските цени на продукцията, и от друга, има повишена нужда от поддръжка поради остаряването [6]. През фазата

на остаряване от жизнения цикъл е невъзможно да се отлага ремонтната дейност.

В тази ситуация голяма помощ оказва използването на подхода "Анализ на решението", подкрепен с финансови и количествени техники. Този подход е разработен и дава добри резултати в областта на инвестиционните решения, където са въввлечени голямо количество от ресурси. Това е много подходящ метод също и при вземането на решения в посока на управление на несигурността, като стремежът е да се намери оптимално време за инспекция и обслужване на екипировката по време на периода на остаряване от жизнения цикъл.

За случая на инвестиционни решения целта на подхода е да се докаже положителният ефект от инвестираните ресурси, а в случая на решения относно инспекция и ремонт, целта е да се определи периодът през който екипировката може да работи надеждно без поддръжка, т.е. без допълнителни инвестиции [4].

Предимството на подхода за анализ на решенията се вижда по-добре в ситуация, в която решението не е очевидно и изисква количествени методи за оценка, базирани на финансови и на инженерни подходи. Възможността да се използва същия този подход за решения за инвестиции при решения за поддръжка и инспекция е много полезна, понеже поддръжката се конкурира за част от общите ресурси на организацията и възможните решения могат да се сравняват.

#### ПРИЛОЖЕНИЕ НА ПОДХОД ЗА АНАЛИЗ НА РЕШЕНИЕТО

Първата стъпка при анализа на решенията е да се определи критерий, който да бъде оптимизиран. Широко използван критерий, даващ добри резултати при финансовите проекти е нетна настояща стойност /NPV/. Този критерий определя бъдещата стойност на настоящите инвестиции и позволява сравняване на различни решения.

$$NPV = \sum_{t=1}^T \left( \frac{B_t - C_t}{(1 + r/100)^t} \right) \quad (1)$$

Нетната настояща стойност се дава с формула (1), където  $t$  е времето в години, а сумата е за период от  $T$  години,  $B_t$  и  $C_t$  са годишните печалба и разходи,  $r$  е дисконтовата норма. Един проект е печеливш, когато NPV е положителна и оптималното решение е при най-голямата стойност на NPV.

При инженерните проекти като критерий за оценка често се използва времето до отказ или вероятността за отказ. Независимо от това, че са инженерни критерии, те резултат във финансови последици. Съществува възможност да се свърже вероятността за настъпване на едно събитие с последиците от настъпването, като терминът последици от настъпване е широко използван от бизнес ориентирани мениджъри. Един по-приемлив инженерен термин

да се опише отказът е риск. В литературата рискът се определя като произведение от вероятността за настъпване на отказа POF и последствията от настъпилото събитие CF, в парична стойност,

$$R = POF * CF \quad (2)$$

Финансистите наричат този параметър очаквана стойност на последствията. Тези които вземат решения се интересуват да знаят не дали един компонент ще откаже, а какъв резултат ще има това за компанията. Тази сходност в дефинициите позволява да се осъществи връзка между инженерните термини и финансовите. Връзката дефинирана между риск и очаквана стойност от последствията от отказ е ключ при формулирането на модел за вземане на решения за определяне на времето за инспекция и ремонт.

В подобна ситуация е необходимо да се определи годината през която ще се извърши инспекцията, така че да се оптимизира NPV измежду няколко алтернативи. Алтернативите отговарят на провеждане на инспекция на края на първата, втората, третата и т.н. години от експлоатация. Тук NPV се разглежда като критерий, който оценява печалбата от неинвестирането, и се използва да се определи годината на инспекция. Във форм.1 за T се приема номерът на годината, когато се извършва инспекцията и ремонта. За целите на вземане на решение за инспекция, печалбата B във форм.1 се разглежда като предотвратени загуби и може да се изрази като редуциране на риска поради инспекция,

$$B = \Delta POF * CF \quad (3)$$

За годините преди инспекцията, печалбата B може да се счита равна на риска, формула 2.

*Вземане на решение за инспекция за заварено тръбно съединение от X-тип.*

Заварените съединения са широко разпространени в стоманените конструкции, например нефтени морски платформи. Тяхната механична здравина е много важна, понеже един отказ/разрушение може да има много значителни последици. Тук се разглежда едно X-тип тръбно заварено съединение от голяма стоманена конструкция [7,8], за да се определи подходящото време за инспекцията му и се разработи ремонтна програма, която трябва да отговаря на инженерните и финансови изисквания. При анализа трябва да се отчитат два важни въпроса. От финансова гледна точка е необходимо да се намери времето, до което фирмата ще има печалба от експлоатацията на конструкцията без поддръжка. От инженерна гледна точка, ремонтът не бива да се отлага много, защото вероятността от отказ и риск ще нарастне върде много.

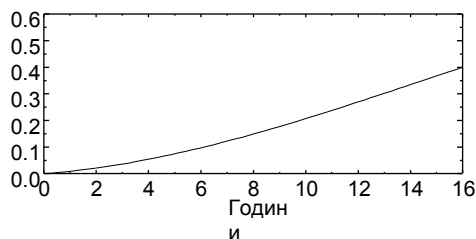
За да се получи изменението на вероятността за отказ с времето /брой на натоварващите цикли/, се използва подход базиран на Вейбулов анализ на надеждността [2], и вероятностна механика на разрушението [7]. Вейбулови анализ се използва, защото той дава надеждни резултати и при ограничени данни. За целта са използвани данни от

лабораторни изпитания [8]. В таблица 1 са показани измерените дълбочини на пукнатината в различни точки от нейния профил. Броят цикли представлява броят след появата на пукнатината и нейното първоначално измерване. Тук 15000 цикли отговарят на 1 година експлоатация. Тези данни са приложени в един модел от механика на разрушаването който включва механизъм за оценяване на разпространението на пукнатината. Резултатите от тази симулация са вероятности за разрушаване спрямо времето, фигура 2.

Таблица 1.

Брой на циклите	Дебелина на стената на различни положения (mm)			
	I	II	III	IV
145000	17.5	22	25	22.5
180000	4.7	12.5	15.8	15.5
200000	2.6	6.8	8.2	9.2
220000	0.2	2.5	5	5.8
240000	0.01	1.2	2.5	2.5

е  
не  
ве  
л  
де  
ед  
е  
л  
со  
нл  
во  
де  
в

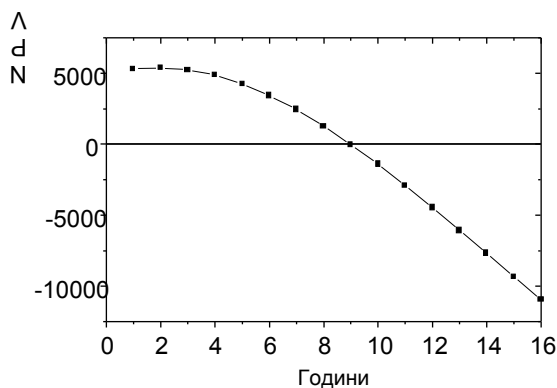


Фигура 2. Изменение на вероятността от отказ във времето за заварено съединение от X-тип

Процедурата за оценяването на NPV трябва да определи подходящото време за инспекция и ремонт, което отговаря на една неотрицателна стойност на NPV. Този анализ е извършен с помощта на Ексел таблица, която позволява лесно оценяване на NPV. За този пример са използвани следните начални данни: Последствия от разрушаване на завареното съединение 20000, стойност на инспекция и ремонт 5000.

Резултатите от изменението на NPV спрямо годините е показано на фигура 3. За първите девет години NPV е положителна и след това става отрицателна, което показва, че положителни финансови резултати са достигнати в първите девет години. Следователно най-добър финансов резултат ще има ако инспекцията се проведе през деветата година.

Трябва да се отбележи, че е необходимо да се следи за възможни мултипликационни ефекти, поради факта, че един отказ може да предизвика вторичен ефект - нов отказ (например пластичен колапс). Вероятността от такъв "каскаден" ефект е повишена в съвременната индустрия и конструкции. За тази цел е необходимо да се установят всички връзки между рисковите събития, да се определи вероятността за настъпване на събитията и да се оценят мултиплицираните последиствия.



Фигура 3. Изменение на нетна настояща стойност във времето

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представен е подход за използване на NPV при вземане на решения за провеждане на инспекция и

поддръжка. Той позволява да се изградят връзки между инженерни и финансови експерти, основани на взаимно разбиране и дефиниране на риска.

Чрез пример е показано, че е възможно намирането на подходящо време за инспекция и ремонт, отчитайки инженерните и финансови аспекти на проблема.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Burdekin, F.M., Risk assesment and structural integrity aspects of material behaviour, *Int. Science Reviews*, 2000, vol. 25, 2, pp.141-151.
- Modares, *Reliability and risk analysis*, M.Dekker, New York, 1993, p.343.
- Williams, C.A., M.L. Smith, P.C.Young, *Risk management and insurance*, McGraw-Hill, Boston, 1998.
- Mauney, D.A., *Economic optimisation of multiple component replacement /Inspection in the power system environment*, In: ASME PVP Vol. 251, 1993, pp1-16.
- Ireson, W., et.al., *Handbook of Reliability Engineering and Management*, McGraw-Hill, New York, 1996.
- Barringer, H. P., *Reliability issues from a management perspective*, In: Proc. of API Pipeline Conf., San Antonio, 2001.
- Tchankov, D.S., *Remaining life estimation of cracked tubular joint*, *Mashinostroene*, 3-4, 1998.
- Kam, J. C. P., et al, *MALET - Pilot Study*, Report, NDE, UCL, London, 1992.

# APPLICATION OF ECONOMICAL TOOLS IN RISK MANAGEMENT

**Lubka Tchankova**

**Dimitar Tchankov**

Technical University of Sofia  
1000 Sofia, Bulgaria  
E-mail: [lgch@tu-sofia.acad.bg](mailto:lgch@tu-sofia.acad.bg)

Technical University of Sofia  
1000 Sofia, Bulgaria

## ABSTRACT

The risk of failure is now important part of many different aspects of materials and engineering applications. As part of the effective management, risk assessments are essential requirements for taking appropriate decisions for maintenance and repair. By combining both engineering and financial methods it is possible to find the appropriate time for maintenance actions. Presented decision analysis approach is demonstrated on a problem for maintenance timing of a welded tubular X-joint.

## INTRODUCTION

Risk has always been an inherent part of the every day life. People accept risk because they want to achieve their goals. The evolution of the mankind increases the importance of the risk management in the industry. Risk is taken into account as an integral part of the design of structures to achieve target reliability depending on the severity of failure and on the uncertainty of the input data [1,2]. Risk is also important as a base for managerial decisions on inspection, maintenance, and investigation of the life cycle of engineering structures and equipment[1,3].

Risk assessment methods are now used widely in the electrical power plants, chemical engineering industry, general structural and machine building industry etc. This is especially critical in the case of severe working conditions for some part of the equipment. It is financially non-profitable to replace the whole equipment because only a few parts are out of order. The existing system of regular maintenance/repair does not allow achieving the best financial decisions because it is build mostly on engineering requirements. Finding an intersection point between financial and engineering requirements is way to success.

The aim of this paper is to present the strategies to prevent the risk and to analyse the possibilities to use the risk management procedures to predict the consequences of failure, to propose an approach for maintenance timing based on financial costs analysis.

## LINK AND DEPENDENCE BETWEEN ENGINEERING AND FINANCE

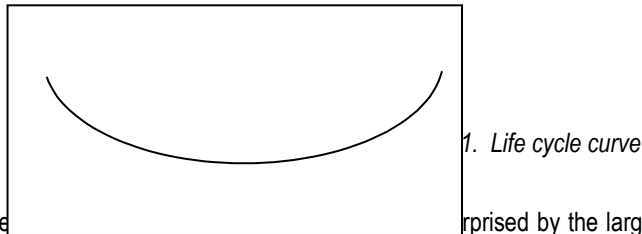
Risk management is an interdisciplinary subject that covers different topics but the link between the engineering and finance is not always obvious. Although the effects of undesirable event usually translate into financial result the key point of understanding the link between engineering and finance is not easy seen. The main reason of this miss -understanding is the difference between tools and definitions used by engineers and managers. Both engineers and managers seek own solution of a problem and can not find a simple intersection between their aims [4].

The limitations of the organisational resources make difficult for engineers to obtain the necessary resources to maintain the expensive equipment. The engineers can not convincingly proof their requirements to the decision-makers that are usually managers and want to see the profit. The problem arise because the engineers normally do not express themselves in financial terms but in engineering analysis results as fatigue life, crack growth, etc. In addition engineers have to compete against other staff of the company for resources to support maintenance of the equipment. The competition for organisational resources usually is based on quantitative method for financial and decisions analysis.

The limitation on the maintenance resources is born from increasing the maintenance costs. The higher requirements on the maintenance costs come from equipment that is in the ageing part of its life cycle. A lot of components working in severe conditions are in or rapidly approaching the high age of their life cycle. Such kind of component has a shorter life cycle comparing to other elements of the equipment.

Typical life cycle curve is shown in Figure 1. It shows the classic shape of the Weibull life curve [2,5]. In the left side the failure rate decreases, that is known as infant mortality. There are initial defects from design and manufacturing. The central section of the curve is a period of life with approximately constant failure rate. The right part is the ageing period of the structure and it has an exponentially increasing failure rate due to some specific material failure mechanisms like fatigue, crack growth, wear and creep. This curve is used to describe almost all engineering components.

Life  
cycle  
cost



The manager is surprised by the large increase in maintenance costs for components of industrial facilities approaching to the ageing part of their life cycles. An opinion exists that during the constant failure rate period if prudent maintenance was performed the rate of failures would not increase rapidly.

The limitation of the organisational resources is caused by lowering of price of products produced by old equipment. The dynamic of nowadays market have resulted in using a low price strategy in order to meet competition.

Managerial decisions are very difficult because of one side there is a limitation on the maintenance resources due to the low prices of the product and on the other side there is the increased need to do maintenance due to ageing [6]. At the period of ageing part of the life cycle of the equipment it is impossible to postpone the maintenance work.

In this situation a big help is using decision analysis supported with financial analyses and quantitative techniques. This approach has been developed and gives good results in the field of investment decisions where large amounts of resources are involved. It is very appropriate approach as well in maintenance decision making, in the direction to manage uncertainty by trying to find the optimal time to maintain equipment during the ageing part of its life cycle.

In the case of investment decision the aim of the approach is to prove the positive effect of invested resources but in case of maintenance decisions the aim is to determine the period during which the equipment can work reliable without maintenance, that is without additional investment [4].

The advantage of decision analysis approach is better seen for the situation when the decision is not obvious and requires quantitative methods based on both financial and engineers knowledge. The possibility to use the same well known investment decision approach for maintenance decision is reasonable since the maintenance is competing for the general organisational resources and decisions can be compared.

#### APPLICATION OF DECISION ANALYSIS APPROACH

The first step in the decision analysis is to determine the criterion to be optimised. The wide used criterion providing good results in financial projects is the Net Present Value (NPV). This criterion determines the futures value of recent invested resources and allows comparing different decisions. The Net Present Value can be given as,

$$NPV = \sum_{t=1}^T \left( \frac{B_t - C_t}{(1 + r/100)^t} \right) \quad 1)$$

where  $t$  is time in years, and sum is for a period of  $T$  years,  $B_t$  and  $C_t$  are the annual benefits and costs respectively,  $r$  is the discount rate in %.

Any project is profitable when the calculated NPV is positive and the optimal decision is with the largest NPV.

In the engineering projects as criterion for estimation frequently time to failure, or probability of failure are used. Even they are engineering criteria they result in financial consequences. It becomes possible to connect the probability of occurrence to consequence of occurrence, that is term well accepted by business oriented managers. A more accepted term for engineers to describe failure is risk. In the literature risk is determined as a product of probability of occurrence (failure) POF, and consequence of occurrence (failure) of undesirable event, CF, given in cash terms,

$$R = POF * CF \quad (2)$$

The financiers call the above mentioned parameter the expected value of the consequence. The decision-makers are interested not to know whether a component will fail, but what result will produce this failure to the company. The similarity in definitions allows to build a link between engineering terms and financial terms. The relationship defined by risk and expected value of consequence of failure is a key in the formulation of the decision model for quantitative maintenance decision making.

In maintenance decision situation it is necessary to determine a maintenance action year to optimise NPV amongst several alternatives. The alternatives correspond to performing maintenance action at the end of first, second, third etc year. Here NPV is considered as criterion that estimate the profit of non-investing, and it is used to determine the year of maintenance. In equation (1)  $T$  becomes the number of year when the maintenance/repair is performed. For the purposes of maintenance decision the main benefit  $B$  in equation (1) is seen as prevented losses and can be expressed as a reduction of the risk due to maintenance,

$$B = \Delta POF * CF \tag{3}$$

For the years before the maintenance, the benefit  $B$  can be considered equal to the risk, equation (2).

### Welded tubular X-joint maintenance decision problem

Welded tubular joints are widely used in structural industry, for example in offshore structures. Their mechanical durability is very important, as a mechanical failure may have very significant consequences. Here a X-type welded joint from a large structure [7,8] will be investigated in order to establish appropriate maintenance and repair programme that have to cover engineering and financial requirements. In the analysis two questions have to be considered. From financial point of view it is necessary to find time, till which the company have benefit and profit from the structure without maintenance. From engineering point of view the repair must not be delayed because the probability of failure and risk will increase too much.

To obtain the variation of the probability of failure with time (number of loading cycles) an approach based on Weibull reliability analysis [2] and probabilistic fracture mechanics [7] was applied. The use of Weibull analysis technique is chosen, due to its capability to give reliable results with limited amount of data. For this, data from laboratory tests was used [8]. In Table 1 crack depths for four different location of the measured crack profile are shown. The number of cycles represents the number after initial crack measurement. Here 15000 cycles correspond to 1 year in service. The above data was implemented in a probabilistic fracture mechanics model that incorporates a damage propagation mechanism [7]. The results of this simulation are probabilities to failure versus time, Fig. 2.

Table1.

Number of cycles	Wall thickness at different locations (mm)			
	I	II	III	IV
145 000	17.5	22	25	22.5
180 000	4.7	12.5	15.8	15.5
200 000	2.6	6.8	8.2	9.2
220 000	0.2	2.5	5	5.8
240 000	0.01	1.2	2.5	2.5

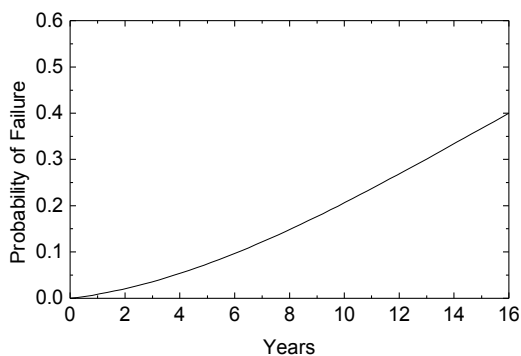


Figure 2. Variation of probability of failure with time for X-type welded joint.

The procedure for NPV estimation has to determine the appropriate time for maintenance/repair, that corresponds to a non-negative NPV. This analysis was performed using an MS Excel workbook that allows an easy NPV estimation. For the purpose of this example the following initial data was used: Consequence of failure of the tubular X-joint is 20000, the cost of maintenance and repair is 5000.

The results for variation of NPV with time are presented in Figure 3. For the first nine years the NPV is positive and later it becomes negative indicating for positive financial results have been achieved in first nine years. Therefore, best financial output will occur if maintenance work is performed during ninth year.

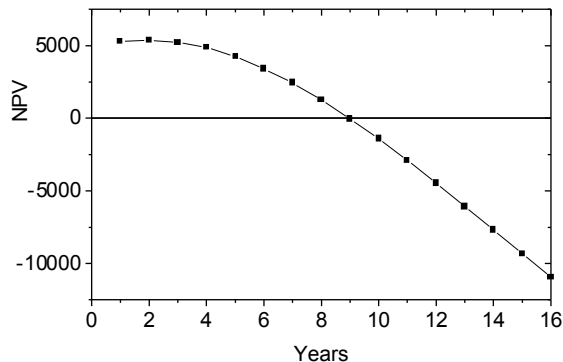


Figure 3. Variation of Net Present Value with time

It has to be noted that it is necessary to take care about some multiplication effects, due to the fact that a single accident can cause secondary effect – a new accident (e.g. plastic collapse). The probability of such cascading effect is increasing in modern industries and structures. For this purpose it is necessary to establish all relations between all possible risk events, to estimate the probability of occurrences and to evaluate the multiple consequences.

## CONCLUSIONS

An approach for using NPV in maintenance decisions was presented. It allows to build a relation between engineering and financial experts, based on a mutual understandable definition of risk.

It is shown on an example that it is possible to find out the appropriate time for maintenance and repair considering both engineering and financial aspects of the problem.

## REFERENCES

- Burdekin, F.M., Risk assessment and structural integrity aspects of material behaviour, *Int. Science Reviews*, 2000, vol. 25, 2, pp.141-151.
- Modares, *Reliability and risk analysis*, M.Dekker, New York, 1993, p.343.
- Williams, C.A., M.L. Smith, P.C.Young, *Risk management and insurance*, McGraw-Hill, Boston, 1998.
- Mauney, D.A., Economic optimisation of multiple component replacement /Inspection in the power system environment, In: *ASME PVP Vol. 251*, 1993, pp1-16.
- Ireson, W., et.al., *Handbook of Reliability Engineering and Management*, McGraw-Hill, New York, 1996.
- Barringer, H. P., Reliability issues from a management perspective, In: *Proc. of API Pipeline Conf.*, San Antonio, 2001.
- Tchankov, D.S., Remaining life estimation of cracked tubular joint, *Mashinostroene*, 3-4, 1998.
- Kam, J. C. P., et al, *MALET - Pilot Study, Report*, NDE, UCL, London, 1992.