

УДК 628.12

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАСОСНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СНИЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

А. М. Кравец

Кременчугский государственный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: kdu7008@ukr.net

Показано, что существующие системы водоснабжения и водоотведения Украины характеризуются высокой аварийностью и низкими показателями эффективности, а используемые средства гидрозащиты насосных комплексов не отвечают требованиям технологической надежности. Для исключения повышенных динамических нагрузок в насосных комплексах предложена электромеханическая система снижения динамических нагрузок на базе частотно-регулируемого электропривода запорно-регулирующей трубопроводной арматуры с резервным источником электропитания. Разработана методика оценки технико-экономических показателей работы насосного комплекса с электромеханической системой снижения динамических нагрузок в трубопроводной сети с использованием аппарата линейных нейронных сетей. Получено, что технико-экономическая эффективность от внедрения такой системы базируется на ограничении роста количества аварий на участках трубопроводной сети и сокращении материальных затрат на выполнение аварийно-восстановительных работ.

Ключевые слова: электромеханическая система, насосный комплекс, аварийность, технико-экономическая эффективность.

ТЕХНИКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ НАСОСНИХ КОМПЛЕКСІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ЗНИЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

О. М. Кравець

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: kdu7008@ukr.net

Показано, що існуючі системи водопостачання й водовідведення України характеризуються високою аварійністю й низкими показниками ефективності, а сучасні засоби гідрозахисту насосних комплексів не відповідають вимогам технологічної надійності. Для виключення підвищених динамічних навантажень у насосних комплексах запропоновано електромеханічну систему зниження динамічних навантажень на базі частотно-регульованого електроприводу запірно-регулюючої трубопроводної арматури з резервним джерелом електроживлення. Розроблено методику оцінки техніко-економічних показників роботи насосного комплексу з електромеханічною системою зниження динамічних навантажень у трубопроводній мережі з використанням апарату лінійних нейронних мереж. Отримано, що техніко-економічна ефективність від використання такої системи базується на обмеженні зростання кількості аварій на ділянках трубопроводної мережі й скороченні матеріальних витрат на виконання аварійно-відновлювальних робіт.

Ключові слова: електромеханічна система, насосний комплекс, аварійність, техніко-економічна ефективність.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Современные системы водоснабжения и водоотведения Украины характеризуются низкими показателями надежности и эффективности работы, что вызвано значительным износом основных фондов, а также неэффективным использованием материальных и энергетических ресурсов. Эти проблемы тесно взаимосвязаны и негативно сказываются на технико-экономической эффективности работы всего жилищно-коммунального хозяйства.

Согласно статистическим данным [1, 2], каждая пятая насосная станция Украины выработала свой нормативный срок амортизации, четвертая часть водопроводных очистных сооружений требует восстановления или модернизации. Более 30 % коммунальных водопроводных и канализационных сетей находятся в аварийном состоянии. Энергетическая

составляющая в себестоимости питьевой воды может достигать 50 %, а потери воды при ее транспортировании и распределении превышают 30 %, при этом потери электроэнергии составляют не менее 25 %. На рис. 1 приведена диаграмма аварийности трубопроводных сетей систем водоснабжения и водоотведения Украины [3]. Такая ситуация приводит к снижению показателей надежности работы насосных комплексов и росту аварий, количество которых находится в диапазоне 100–400 аварий в год на 100 км трубопроводов (рис. 1). В странах Западной Европы этот показатель находится в диапазоне 10–20 аварий на 100 км трубопровода в год. Поэтому вопросы, связанные с повышением надежности и снижением аварийности работы насосных комплексов (НК), являются актуальными и своевременными.

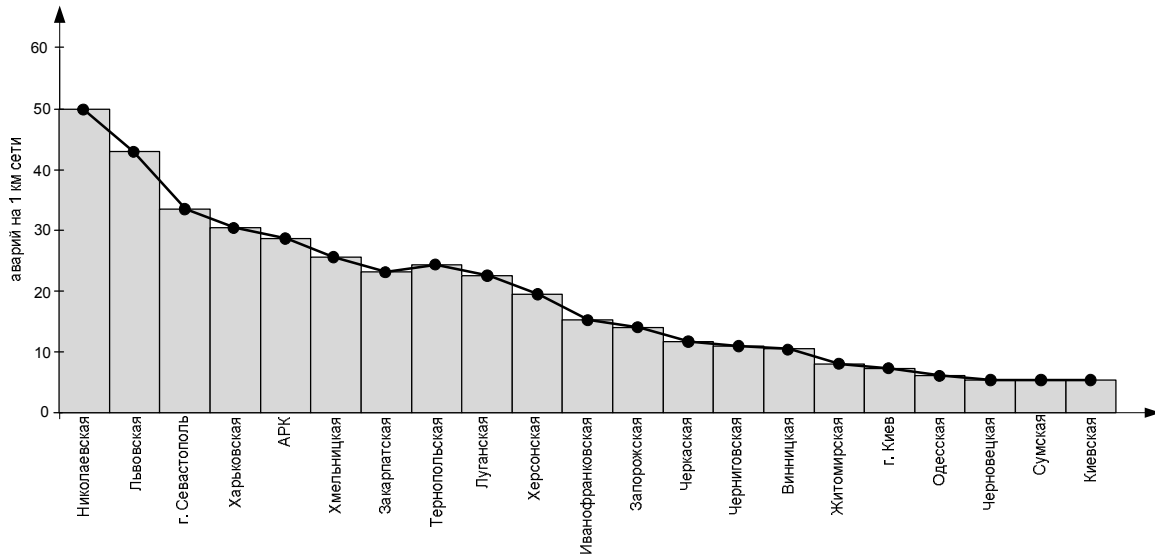


Рисунок 1 – Аварійність трубопроводних мереж систем водоснабження і водоотведення України

В процесі експлуатації НК, зміненні режимів роботи в гідросистемі неизбежно виникають хвильові явища різної природи (провали тиску і гідравлічні удари, пульсації тиску, кавітаційні автоколебання і т.п.), а також пов'язані з ними вібраційні процеси. Згадані явища обумовлені цілим рядом причин: провалами в енергоснабженні НК, аварійними відключеннями електроприводу працюючих насосних агрегатів спрацюванням зворотних клапанів, швидким закриттям або відкриттям захисної або запорно-регулювальної арматури; збоєм автоматизованих систем управління технологічними процесами, хибними спрацюваннями технологічних захистів; періодичними зупинками, повторними пусками, а також комутаційними переключеннями насосів; помилковими діями обслуговуючого персоналу; відключенням або включенням великого споживача і т.п. Як показує практика [4], причинами руйнування трубопроводів в 60 % випадків є гідродари, перепади тиску і вібрації обладнання, викликані стрибками і пульсуючим характером зміни тиску в трубопроводі (рис. 2).

Часто виникнення гідравлічних ударів в комунікаційній мережі відбувається при закритті (відкритті) регулювальних задвижок без дотримання необхідного темпу і тривалості управління. Особливо важким є режим раптового відключення електроенергії, при якому відбувається різке спрацювання зворотного клапана в напорному колекторі НК. Експлуатація НК в таких умовах призводить до підвищених вібрацій стінок і проточного тракту насосного агрегату і трубопроводної арматури, стрибкам тиску в трубопроводній магістралі, в 5–10 раз перевищуючим допустимі значення [5, 6]. При цьому такі режими роботи характеризуються низкими значеннями КПД насосних агрегатів, великими втратами енергії, скороченням в 5–6 раз ресурсу роботи трубопро-

водної арматури, насосного обладнання і значительними матеріальними витратами на ліквідацію наслідків аварій.

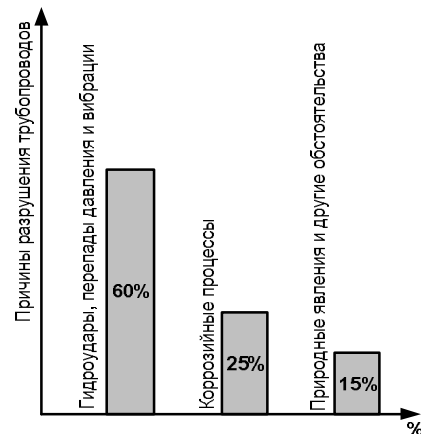


Рисунок 2 – Причини аварійності мереж насосних комплексів

Складившася ситуація обумовлена відсутністю надійних і ефективних засобів захисту від гідродарів і пульсацій тиску, для боротьби з якими використовують повітряні подушки, акумулювальні пристрої тиску, гасителі різних типів, ресивери, дросельні шайби, клапани скидання і т.п. [7, 8]. Такі засоби гідрозахисту не відповідають вимогам технологічної надійності, спрацюють по факту виникнення аварії і призводять до преждевременного износу обладнання, про що свідчить статистика аварійності в НК.

Ефективним способом рішення даної проблеми є використання в НК електромеханічної системи зниження динамічних навантажень (ЕССДН) на базі частотно-регульованого електроприводу (ЕП) запорно-регулювальної задвижки з резервним джерелом електроживлення [9]. Структурна схема ЕССДН в НК наведена на рис. 3.

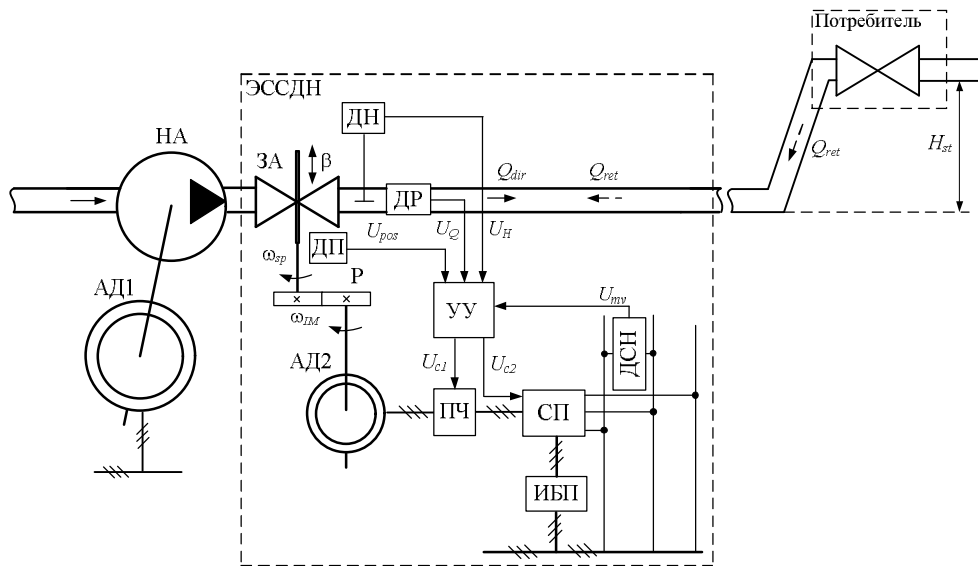


Рисунок 3 – Структурная схема электромеханической системы снижения динамических нагрузок в насосном комплексе

Система включает в себя запорно-регулирующую арматуру ЗА, установленную на выходе центробежного насоса ЦН с приводным асинхронным электродвигателем АД1; преобразователь частоты ПЧ, подключенный к асинхронному приводному двигателю арматуры АД2, вал которого соединен с ее шпинделем через редуктор Р; датчики напора ДН и расхода ДР, установленные в напорном патрубке насоса; датчик положения ДП запорного органа трубопроводной арматуры ЗА; датчик сетевого напряжения ДСН; источник бесперебойного питания ИБП; силовой переключатель СП; устройство управления УУ. Она может использоваться для управления арматурой как в обычных (эксплуатационных) режимах при регулировании напора или производительности в соответствии с текущим водопотреблением, так и в аварийных режимах работы, связанных с внезапным отключением электроэнергии, появлением гидравлических ударов. Для снижения динамических нагрузок в НК при внезапном исчезновении электроснабжения производится переключение питания частотно-регулируемого электродвигателя задвижки на резервный источник электроэнергии.

Срок эксплуатации и динамика изменения интенсивности отказов трубопроводных сетей за несколько предыдущих лет позволяют выполнить расчет экономической эффективности использования ЭССДН, что в условиях высокой аварийности НК является весьма актуальной задачей.

Целью работы является определение технико-экономических показателей при использовании в насосном комплексе электромеханической системы снижения динамических нагрузок.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Надежность водопроводных линий зависит от многих факторов – диаметра и материала труб, качества монтажа, характера грунтов, колебания давления, коррозионных свойств грунта и воды и т.п. Показатели надежности определяются по результатам длительных наблюдений и статистической обработки данных о повреждениях и

авариях.

Основным показателем надежности трубопроводных сетей является интенсивность λ отказов – средняя частота аварий (отказов) на единицу длины в единицу времени, определяемая по результатам регистрации аварий на действующих трубопроводах [10–12]:

$$\lambda = N_y / L, \quad (1)$$

где N_y – количество аварий трубопроводной сети за год; L – протяженность трубопроводной сети, км.

Из [11, 12] известно, что интенсивность отказов λ трубопроводной сети зависит от срока T_w эксплуатации и условно делится на этапы приработки, нормальной работы и старения (рис. 4). Этап приработки длится в течение 3–4 лет с момента начала работы НК. В этот период интенсивность отказов высока, но быстро снижается за счет обнаружения и ликвидации грубых строительных и заводских дефектов. Этап нормальной работы наступает после этапа приработки и длится приблизительно до 15–20 лет эксплуатации и характеризуется примерно постоянной интенсивностью отказов. За это время выявляются грубые дефекты, а новые дефекты (за счет коррозии и усталости) еще не вырастают до опасных размеров. Этап старения особенно заметен после 20 лет эксплуатации и характеризуется монотонным ростом интенсивности отказов за счет ухудшения технического состояния системы и механических свойств материала трубы. Затраты на ремонт трубопроводов в таких условиях могут быть весьма значительными, а дальнейшая эксплуатация такой системы становится нецелесообразной с экономической точки зрения.

Оценка технико-экономических показателей в работе проводилась для НК, трубопроводная сеть и технологическое оборудование которого находилось в эксплуатации более 20 лет. На рис. 4 и в табл. 1 приведена динамика изменения числа порывов на участках трубопроводной сети такого НК за 9 лет,

соответственно. Из рис. 4 видно, что работа НК происходит в области старения или интенсивного износа трубопроводной системы, когда наблюдается непре-

рывной рост аварий и увеличение материальных затрат, необходимых для их ликвидации.

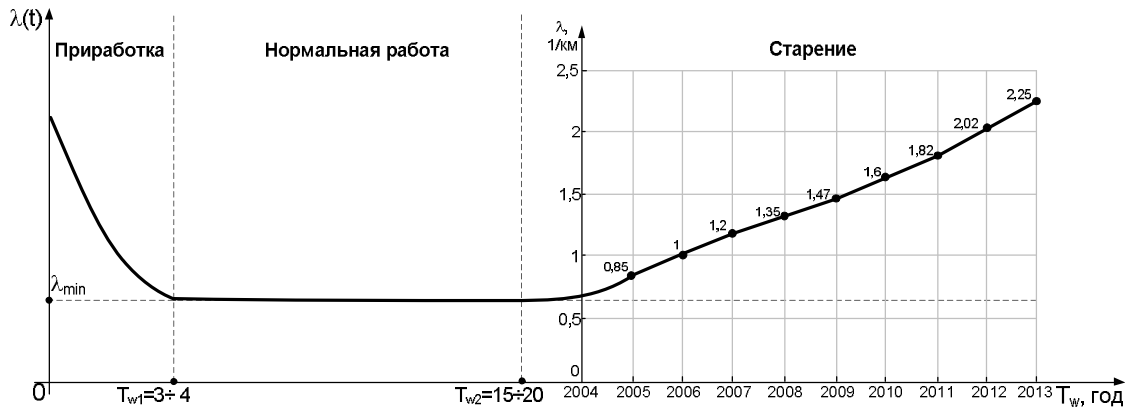


Рисунок 4 – Динамика роста числа порывов на участках трубопроводной сети НК

Таблица 1 – Значения интенсивности отказов трубопроводной сети НК за девять лет

Год	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
$\lambda, 1/\text{км}$	0,85	1	1,2	1,35	1,47	1,6	1,82	2,02	2,25	?

При анализе технико-экономических показателей работы современных НК возникает задача прогнозирования аварий и аварийных ситуаций на участках коммуникационной сети. Для ее решения использован аппарат линейных нейронных сетей [13, 14], который позволяет осуществлять прогноз аварий НК на базе значений интенсивности λ отказов трубопроводной сети за определенный промежуток времени. В рассматриваемом случае задача прогнозирования заключается в определении значения λ за 2014 год (табл. 1). Для ее решения использована линейная нейронная сеть, структурная схема которой приведена на рис. 5. Линейная нейронная сеть представляется сетью без промежуточных слоев, в выходном слое она содержит линейную функцию активации. Во время работы сеть умножает вектор входов на матрицу весов, а затем к полученному вектору прибавляет вектор смещения.

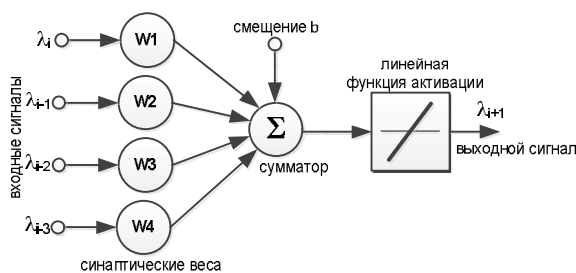


Рисунок 5 – Структурная схема линейной нейронной сети

Для обучения нейронной сети используется выборка, подготовка которой производится с помощью метода окон [13], где ширина окна составляет четыре года. На рис. 6 представлен процесс создания обучающей выборки для рассматриваемого НК. Отсюда видно, что каждая строка таблицы представляет со-

бой обучающий пример, где первые четыре числа – входные значения нейронной сети, а пятое – желаемое значение выхода нейросети. Исключение составляет последняя строка, которая не учитывается при тренировке нейронной сети и используется на заключительном этапе при определении прогнозируемого значения интенсивности λ отказов трубопроводной сети в следующем году.

Программа построения линейной нейронной сети, обучения и определения с помощью нее результата прогнозирования в пакете Matlab приведена ниже:

```

» % Задание входных значений
» I = [0,85 1 1,2 1,35 1,47; 1 1,2 1,35 1,47 1,6; 1,2 1,35 1,47 1,6 1,82; 1,35 1,47 1,6 1,82 2,02];
» % Задание выходных значений
» O = [1,47 1,6 1,82 2,02 2,25];
» % Создание новой сети с именем network
» network = newlind(I,O);
»% Определение прогнозируемого значения
» y = sim(network,[1,6 1,82 2,02 2,25])
y = 2,3844
    
```

Результат прогноза, полученный с помощью линейной нейронной сети для НК без ЭССДН, изображен на рис. 6 большой серой точкой и составляет $\lambda = 2,4 \text{ км}^{-1}$.

Высокая степень износа трубопроводных сетей обуславливает необходимость капиталовложений в их ремонты – аварийно-восстановительные работы (АВР), планово-предупредительные и капитальные ремонты. Использование ЭССДН в НК на базе частотно-регулируемого электропривода регулирующей задвижки с бесперебойным источником питания позволит ограничить или уменьшить рост интенсивности отказов трубопроводной сети (большие белые точки, рис. 6). При этом основной экономический эффект от внедрения такой системы будет заключаться в снижении затрат на АВР за счет уменьшения количества аварий на ее участках.

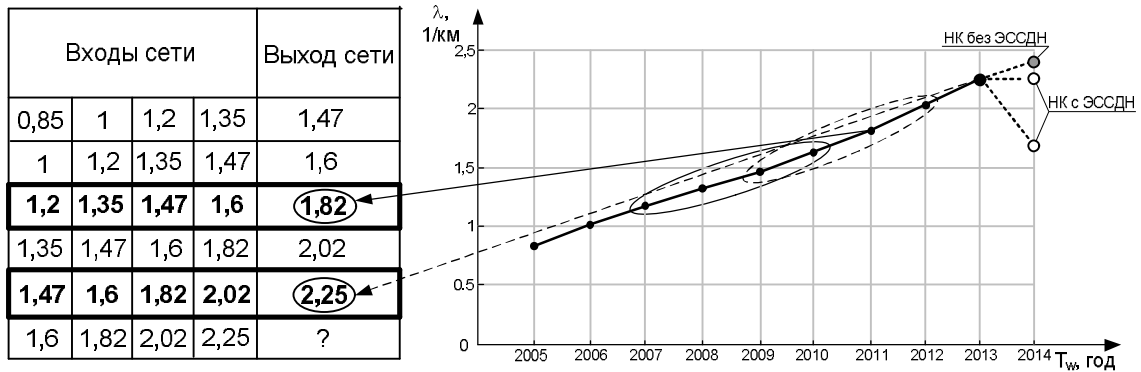


Рисунок 6 – Процесс создания обучающей выборки

Затраты на АВР определяются по выражению [15]:

$$C_{ERW} = C_{PL} + C_M + C_{TM} + C_{LW} + C_{LC}, \quad (2)$$

где C_{OT} – затраты на оплату труда; C_M – затраты на материалы; C_{TM} – затраты на транспорт и механизмы; C_{LW} – затраты в связи с потерей воды при повреждении и промывках системы после восстановления ее целостности; C_{LC} – затраты на ликвидацию возможных последствий аварий (в городской инфраструктуре, экосистеме региона).

Как показывает практика, затраты на АВР составляют 55–60 % от объема затрат на эксплуатацию коммуникационных сетей, т.е. 10–12 % от полных затрат предприятия [15]. В настоящее время для устранения одной аварии (порыва) на участке трубопроводной сети НК затрачивается в среднем $C_{1a} = 25$ тыс. грн.

В табл. 2 приведены капитальные затраты K на внедрение ЭССДН в НК. Использование двух ЭССДН (рис. 7) обусловлено тем, что ЭССДН1 используется для задвижки ЗА1, установленной на выходе НА, а ЭССДН2 – для задвижки ЗА2, установленной в сети потребителя с целью исключения динамических нагрузок в НК в аварийных и регулировочных режимах соответственно.

Экономический эффект от экономии затрат на АВР определяется из выражения

$$E = C_{ERW1} - C_{ERW2}, \quad (3)$$

где $C_{ERW1} = C_{1a}N_{y1}$, $C_{ERW2} = C_{1a}N_{y2}$ – затраты на АВР, грн.; N_{y1} , N_{y2} – количество аварий трубопроводной сети за год; 1, 2 – индексы, соответствующие базовому варианту НК без ЭССДН и модернизированному варианту при использовании ЭССДН, соответственно; C_{1a} – затраты на ликвидацию одной аварии, грн.

Период окупаемости ЭССДН в НК определяется по выражению

$$T = \frac{K}{E - AK}, \quad (4)$$

где $A = 0,083$ – норма амортизационных отчислений для электротехнического оборудования.

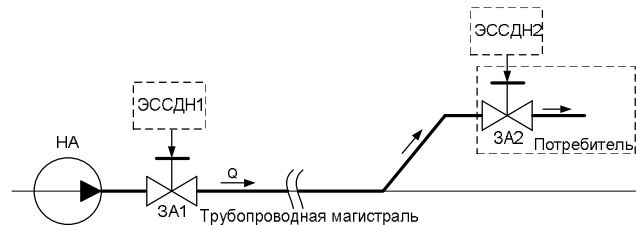


Рисунок 7 – Технологическая схема НК с несколькими ЭССДН

Из графика (рис. 4) следует, что при длине трубопроводной сети НК, равной $L = 5$ км и интенсивности отказов $\lambda = 2,25$ км⁻¹, в соответствии с (1), за последний, 2013, год эксплуатации (большая черная точка, рис. 6) в среднем произошло 11 аварий. Ожидаемое к концу 2014 года количество аварий в НК без ЭССДН, согласно полученному прогнозу, равно 12. При использовании ЭССДН в НК значение интенсивности отказов трубопроводной сети по сравнению с предшествующим годом может оставаться неизменным или уменьшаться (большие белые точки, рис. 6). Так, при неизменном значении интенсивности отказов $\lambda = 2,25$ км⁻¹ к концу 2014 ожидается возникновение 11 аварий; при уменьшении интенсивности отказов на 30 % до значения $\lambda = 1,68$ км⁻¹ – не более восьми аварий за год. Очевидно, в первом случае экономический эффект от внедрения ЭССДН будет минимальным и составит 25 тыс. грн., во втором – вырастет в четыре раза ($E = 100$ тыс. грн.).

В табл. 3 приведены технико-экономические показатели для базового и модернизированного вариантов НК, где через дробь указаны значения показателей при интенсивности отказов, равной $\lambda = 2,25$ км⁻¹ и $\lambda = 1,68$ км⁻¹ соответственно.

Таблица 2 – Капитальные затраты на внедрение ЭЭСДН в НК

№		Количество, (шт.)	Цена за единицу, (грн.)	Общая стоимость, (грн.)
1	Преобразователь частоты	2	7000	14000
2	Бесперебойный источник питания	2	5000	10000
3	Мотор-редуктор	2	15000	30000
4	Преобразователь интерфейсов	1	500	500
5	Датчик положения	2	200	400
6	Датчик напряжения	2	100	200
7	Устройство управления	2	750	1500
8	Капитальные затраты K , грн.			56600

Таблица 3 – Техничко-экономические показатели работы НК с ЭЭСДН

	Капитальные затраты K , тыс. грн.	Количество аварий N_y	Затраты C_{ERW} на АБР, тыс. грн.
Базовый вариант НК	–	12	300
Модернизированный вариант НК	56,6	11/8	275/200
Экономический эффект E , тыс. грн.		25/100	
Период окупаемости T , год		2,8/0,6	

ВЫВОДЫ. Работа современных систем водоснабжения и водоотведения Украины характеризуются длительным сроком эксплуатации, высокой аварийностью и низкими показателями надежности. Зачастую аварии трубопроводных сетей вызваны гидравлическими ударами, возникающими при открытии/закрытии трубопроводной арматуры или внезапном отключении энергоснабжения насосного комплекса. Ликвидация последствий аварий связана со значительными материальными затратами. Показано, что для снижения аварийности трубопроводных систем и повышения технико-экономических показателей работы насосных комплексов эффективным является использование электромеханической системы снижения динамических нагрузок.

Предложена методика оценки технико-экономических показателей работы насосного комплекса с электромеханической системой снижения динамических нагрузок в трубопроводной сети с использованием аппарата линейных нейронных сетей. Она позволяет осуществлять прогноз количества аварий на участках трубопроводной сети на основе статистики возникновения аварий за несколько предшествующих лет.

Получено, что технико-экономическая эффективность от внедрения электромеханической системы снижения динамических нагрузок заключается как минимум в ограничении, а в реальных условиях приводит к существенному снижению количества аварий на участках трубопроводной сети, что сопровождается сокращением материальных затрат на выполнение аварийно-восстановительных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Статистичний бюлетень про основні показники роботи водопровідного господарства України за 2008 р. – К.: Держкомстат України, 2009. – 28 с.
2. Иньякин В.Н., Шевченко В.В. Минимизация последствий техногенных аварий в жилищно-коммунальном хозяйстве // Экономика промышленности. – 2010. – № 2. – С. 41–48.
3. Салиев Э.И., Николенко И.В., Гаффарова Э.У. Влияние ремонтпригодности на надежность систем водоснабжения // Сборник научных статей Крымского инженерно-педагогического университета. – Вып. 36. – Симферополь, 2012. – С. 43–49.
4. Куликов В. Предотвращать, а не ликвидировать последствия // Мировая энергетика. – 2008. – № 2/2008 (50). – С. 20–21.
5. Карелин В.Я., Новодережкин Р.А.. Насосные станции с центробежными насосами. – М.: Стройиздат, 1983. – 221 с.
6. Попов В.М. Рудничные водоотливные установки. – М.: Недра, 1972. – 304 с.
7. СНиП 2.04.02–84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения / Гостстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1975. – 136 с.
8. СНиП 11–32–74. Канализация. Наружные сети и сооружения / Гостстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1975. – 92 с.
9. Загирняк М.В., Кравец А.М., Коренькова Т.В. Управление динамическими нагрузками в гидротранспортном комплексе // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – № 4. – 2011. – С. 124–128.
10. Дейнеко С.В. Обеспечение надежности систем трубопроводного транспорта нефти и газа. – М.: Техника, 2011. – 176 с.

11. Тарарычкін І.А., Нечаев Г.И. Развитие процессов старения и пути обеспечения долговечности трубопроводов транспортных систем // Вісник СНУ ім. В. Дала. – Вип. 5/2011 (159), част. 2. – Луганськ, 2011. – С. 291–297.

12. Лобко О.Н. Методика анализа повреждаемости трубопроводов // Научно-технический сборник "Коммунальное хозяйство городов". – Вып. 93. – Харьков, 2010. – С. 321–324.

13. Дьяконов В., Круглов В. Математические

пакеты расширения Matlab. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2001. – 480 с.

14. Галушкин А.И. Нейронные сети. Основы теории. – М.: Горячая линия–Телеком, 2010. – 480 с.

15. Медведевский В.В. Управление экономикой процесса аварийно-восстановительных работ на предприятиях водопроводно-канализационного хозяйства // Научно-технический сборник "Коммунальное хозяйство городов". – 2007. – Вып. 75. – Харьков, 2007. – С. 338–342.

TECHNO-ECONOMIC INDICATORS OF PUMP COMPLEX AT USING ELECTROMECHANICAL SYSTEM OF DYNAMIC LOADS REDUCTION

O. Kravets

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

ul. Pervomayskaya, 20, Kremenchug, 39600, Ukraine. E-mail: kdu7008@ukr.net

It is shown that the existing water supply and sanitation in Ukraine are characterized by high accident rate and low efficiency, and the means used hydroprotection pumping systems do not meet the requirements of technological reliability. To exclude high dynamic loads in pumping complexes proposed electromechanical system of dynamic loads reduction basis on the frequency-controlled electric shut-off control valves with redundant power supply. The technique of evaluation of technical and economic performance of the pump complex electromechanical system of dynamic loads reduction in the network is using the apparatus of linear neural networks. It is found that the technical and economic effectiveness of introducing such a system is based on limiting the growth of the number of accidents in the areas of pipeline network and reducing material costs to perform rescue and recovery operations.

Key words: electromechanical system, pump complex, accidents, technical and economic efficiency.

REFERENCES

1. *Statystychnyj bjuletyn' pro osnovni pokaznyky roboty vodoprovodnogo gospodarstva Ukraïny za 2008 r.* [Statistical Bulletin of the main indicators of the water economy of Ukraine in 2008], Kyiv. (in Ukrainian)

2. Inyakin, V.N. and Shevchenko, V.V. (2010), "Minimizing the effects of technological accidents in housing and communal services", *Ekonomika promyslovosti*, no. 2, pp. 41–48. (in Russian)

3. Saliev, E.I, Nikolenko, I.V. and Gaffarova, E.U. (2012), "Impact of maintainability reliability of water supply systems", *Sbornik nauchnyh statey Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta*, Vol. 36, pp. 43–49. (in Russian)

4. Kulikov, V. (2008), "Prevent, rather than deal with the consequences", *Mirovaya energetika*, Vol. 2, no. 50, pp. 20–21. (in Russian)

5. Karelin, V.Y. and Novoderezhkin, R.A. (1983), *Nasosnye stantsii s tsentrobezhnymy nasosamy* [Pumping stations with centrifugal pumps], Stroyizdat, Moscow. (in Russian)

6. Popov V.M. (1972), *Rudnichnye vodootlivnye ustanovki* [Miner sump installation], Nedra, Moscow. (in Russian)

7. *SNiP 2.04.02-84 Vodosnabzhenie. Naruzhnye seti i sooruzheniya* [Water. External networks and facilities], Strojizdat, Moscow. (in Russian)

8. *SNiP 11-32-74 Kanalizatsiya. Naruzhnye seti i sooruzheniya* [Sewerage. External networks and facilities], Strojizdat, Moscow. (in Russian)

9. Zagirnyak, M.V., Kravets, A.M. and Korenkova, T.V. (2011), "Control of dynamic loads in hydrotransport complex", *Izvestija vysshih uchebnyh zavedeniy. Elektromehnika*, Vol. 4, pp. 124–128. (in Russian)

10. Deyneko S.V. (2011), *Obespechenie nadezhnosti sistem truboprovodnogo transporta nefii i gaza* [Ensuring the reliability of pipeline transport of oil and gas], Tehnika, Moscow. (in Russian)

11. Tararychkin, I.A. and Nechaev, G.I. (2011), "Development of the aging process and ways to ensure the longevity of pipelines transport systems", *Visnyk SNU im. V. Dalya*, Vol. 5, no. 159, pp. 291–297. (in Russian)

12. Lobko O.N. (2010), "The method of analysis of damage to pipelines", *Nauchno-tehnicheskij sbornik "Kommunalnoe hozaystvo gorodov"*, Vol. 93, pp. 321–324. (in Russian)

13. Dyakonov, V. and Kruglov, V. (2001), *Matematicheskie pakety rasshireniya Matlab. Specialniy spravochnik* [Matlab mathematical expansion packs. A special handbook], Piter, St. Petersburg. (in Russian)

14. Galushkin A.I. (2010), *Neuronnye seti. Osnovy teorii* [Neural networks. Fundamentals of the theory], Goryachaya liniya–Telecom, Moscow. (in Russian)

15. Medvedovskiy V.V. (2007), "Economic management process rescue and recovery operations at enterprises water supply and sanitation", *Nauchno-tehnicheskij sbornik "Kommunalnoe hozaystvo gorodov"*, Vol. 75, pp. 338–342. (in Russian)

Стаття надійшла 27.02.2014.