

Polish Academy of Sciences  
University of Engineering and Economics in Rzeszów

# MOTROL

**COMMISSION OF MOTORIZATION AND ENERGETICS  
IN AGRICULTURE**

AN INTERNATIONAL JOURNAL  
ON OPERATION OF FARM AND AGRI-FOOD INDUSTRY  
MACHINERY

Vol. 15, No 5

LUBLIN – RZESZÓW 2013

**Editor-in-Chief:** Eugeniusz Krasowski  
**Assistant Editor:** Jerzy Grudziński

### Associate Editors

1. Agricultural machinery: *Valeriy Dubrovin*, Kiev, *Mariusz Szymanek*, Lublin
2. Machinery of agri-food industry: *Leszek Mościcki*, Lublin
3. Energetics: *Iliia Nikolenko*, Simferopol, *Janusz Wojdalski*, Warszawa
4. Land management, urban planning, architecture and geodesy: *Karol Noga*, Kraków, *Roman Kadaj*, Rzeszów, *Michał Proksa*, Rzeszów, *Lech Lichołaj*, Rzeszów
5. Mathematical, statistics: *Andrzej Komacki*, Lublin, *Rostisław Bun*, Lviv

### Editorial Board

|   |  |
|---|--|
| Dariusz Andrejko, Lublin, Poland        | Janusz Mysłowski, Szczecin, Poland     |
| Andrzej Baliński, Kraków, Poland        | Ignacy Niedziółka, Lublin, Poland      |
| Volodymyr Bulgakow, Kiev, Ukraine       | Paweł Nosko, Lugansk, Ukraine          |
| Zbigniew Burski, Lublin, Poland         | Gennadij Oborski, Odessa, Ukraine      |
| Karol Cupiał, Częstochowa, Poland       | Yurij Osenin, Lugansk, Ukraine         |
| Aleksander Dashchenko, Odessa, Ukraine  | Marian Panasiewicz, Lublin, Poland     |
| Kazimierz Dreszer, Lublin, Poland       | Sergiej Pastushenko, Mykolayiv,        |
| Valeriy Dyadychev, Lugansk, Ukraine     | Iwan Rohowski, Kiev, Ukraine           |
| Dariusz Dziński, Lublin, Poland         | Józef Sawa, Lublin, Poland             |
| Stepan Epoyan, Kharkiv, Ukraine         | Povilas A. Sirvydas, Kaunas, Lithuania |
| Sergiej Fedorkin, Simferopol, Ukraine   | Wołodymyr Snitynskiy, Lviv, Ukraine    |
| Jan Gliński, Lublin, Poland             | Jerzy Sobczak, Kraków, Poland          |
| Dimitriy Goncharenko, Kharkiv, Ukraine  | Stanisław Sosnowski, Rzeszów, Poland   |
| Aleksandr Holubenko, Lugansk, Ukraine   | Ludvikas Spokas, Kaunas, Lithuania     |
| L.P.B.M. Jonssen, Groningen, Holland    | Jarosław Stryczek, Wrocław, Poland     |
| Stepan Kovalyshyn, Lviv, Ukraine        | Aleksander Sydorchuk, Kiev, Ukraine    |
| Józef Kowalczyk, Lublin, Poland         | Wojciech Tanaś, Lublin, Poland         |
| Elżbieta Kusińska, Lublin, Poland       | Viktor Tarasenko, Simferopol, Ukraine  |
| Andrzej Kusz, Lublin, Poland            | Giorgiy F. Tayanowski, Minsk, Belarus  |
| Janusz Laskowski, Lublin, Poland        | Leonid Tishchenko, Kharkiv, Ukraine    |
| Nikołaj Lubomirski, Simferopol, Ukraine | Henryk Tylicki, Bydgoszcz, Poland      |
| Kazimierz Lejda, Rzeszów, Poland        | Denis Viesturs, Ulbrok, Latvia         |
| Dmytro Melnychuk, Kiev, Ukraine         | Dmytro Voytiuk, Kiev, Ukraine          |
| Jerzy Merkiś, Poznań, Poland            | Anatoliy Yakovenko, Odessa, Ukraine    |
| Ryszard Michalski, Olsztyn, Poland      | Oleg Zaitsev, Simferopol, Ukraine      |
| Aleksander Morozov, Simferopol, Ukraine | Tadeusz Złoto, Częstochowa, Poland     |

All the scientific articles positive evaluations by independent reviewers

Lingusitic consultant: *Iliia Nikolenko*

Typeset: *Hanna Krasowska-Kołodziej, Natalia Stepanowa*

Cover design: *Hanna Krasowska-Kołodziej*

Photo on the cover: *Janusz Laskowski*

Editorial Office address: Commission of Motorization and Energetics in Agriculture

Wielkopolska Str. 62, 20-725 Lublin, Poland

e-mail: [eugeniusz.krasowski@up.lublin.pl](mailto:eugeniusz.krasowski@up.lublin.pl)

ISSN 1730-8658

© Copyright by Polish Academy of Sciences 2013

© Copyright by University of Engineering and Economics in Rzeszów 2013

In co-operation with National Academy of Nature Protection and Resort Building in Simferopol 2013

Edition 200 + 16 egz.

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ОБЪЕКТАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ СИМФЕРОПОЛЬСКОГО ВОДОКАНАЛА

Сергей Бойчук

National Academy of Environmental Protection and Resort Development,  
Kievskaya street 18, r. 303, Simferopol, Autonomous Republic of Crimea, postcode: 95493, Ukraine,  
E-mail: pk@napks.edu.ua

**Аннотация.** В работе приведены исследование возможностей использования возобновляемых источников энергии на предприятиях водопроводно-канализационного хозяйства для повышения энергоэффективности предприятия в целом. Определены потребности водопроводных очистных сооружений в электроэнергии. Осветлены вопросы, связанные с реализацией электроэнергии по «зеленому» тарифу. Приведен принцип работы турбины Френсиса. Представлена технологическая схема получения электроэнергии из возобновляемых природных источников. Представлены технико-экономические показатели внедряемого проекта. Определена прибыль предприятия от реализуемой полученной электроэнергии.

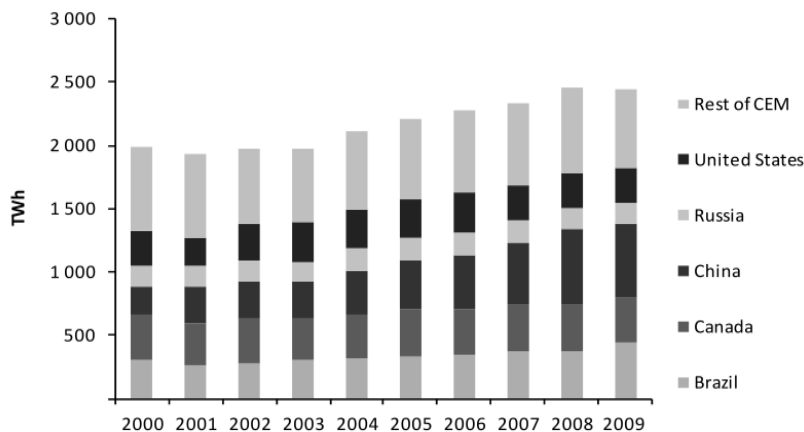
**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, гидроузел, водопроводные очистные сооружения, «зеленый» тариф, турбина Френсиса, проект реконструкции, гидроэлектростанция, система водоснабжения.

### ВВЕДЕНИЕ

Энергия и эффективность – одно из самых важных составляющих успеха предприятия. Начиная с малого бизнеса и заканчивая крупными государственными предприятиями, вопросы энергоэффективности стоят особо остро, а в существующей экономической ситуации решение задач удержания на уровне рентабельности, безубыточности предприятия являются самыми приоритетными. Реальность определяет условия выживания предприятия в период экономических спадов и нестабильности.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Зарубежные исследования свидетельствуют о росте заинтересованности в повышении эффективности работы предприятий, с высокой долей зависимости от энергоносителей, принцип работы которых основан на практическом применении возобновляемых источников энергии. Согласно последнему отчету Международного Энергетического Агентства (IEA) за последнее десятилетие мировой спрос в энергии именно из возобновляемых источников постоянно растет, о чем свидетельствуют данные рис. 1 [7].



Notes: Excludes pumped storage. Some 2009 numbers are estimates.

Рис. 1. График роста мирового использования возобновляемых источников энергии  
Fig. 1. The schedule of growth of world use of renewed energy sources

Гигантскими скачками происходит развитие данного направления в Китае и ряде других развивающихся стран. Не маловажную роль в данной тенденции имеет подход с использованием «зеленых» тарифов на энергоносители [4, 8, 9].

На протяжении последних лет, на предприятии Симферопольского водоканала ведется постоянная исследовательская работа в тесном сотрудничестве с кафедрой водоснабжения, водоотведения и санитарной техники Национальной академии природоохранного и курортного

строительства, а также с ведущими проектными организациями, выполняющими рабочие проекты для внедрения инноваций и технических новшеств [1, 2, 3, 10, 11]. Важно отметить, что за недавнее время на предприятии было проведено исследование требуемых напоров на территории города Симферополя, и выполнен гидростатический баланс. Вопрос избыточных напоров в сетях был решен путем перераспределения подачи воды по сети водоснабжения. За счет проведенного

мероприятия предприятие получило существенное снижение энергопотребления насосными станциями.

Симферопольский водоканал многие годы использует в своей практике частотные преобразователи работы насосных агрегатов там, где целесообразно их использование. При внедрении которых, предварительно проводится исследование режимов работы насосной станции. Это позволило снизить потребление электроэнергии, как в абсолютном выражении - с 88825 тыс. кВт-ч (2002 г.) до 39900 тыс. кВт-ч (2011 г.) так, и из расчета на 1 м<sup>3</sup> реализованных услуг централизованного водоснабжения - с 2,06 кВт-ч (2002 г.) до 1,46 кВт-ч (2011 г.), что составляет 44,8%.

### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В сложившейся ситуации водоснабжения г. Симферополя способы повышения энергоэффективности при помощи возобновляемых источников энергии определены несколькими факторами, например, наличием возможности использования природной избыточной энергии потока воды, путем генерации электроэнергии для собственных нужд гидроузла, удобство перехода на автономную работу ряда существующего оборудования и объектов. Также большой интерес представляет реализация электроэнергии по «зеленому» тарифу при учете соблюдения правовых аспектов [12].

«Зеленый» тариф – это специальная цена, по которой закупается электроэнергия, произведенная при помощи альтернативных источников энергии: солнца, ветра, воды, тепла земли, биогаза и др. Сейчас в Украине по «зеленому» тарифу энергию продают 52 компании, еще год назад их было всего 29. «Зеленый» тариф сегодня используют более 60 стран мира. Это один из самых распространенных и эффективных стимулов развития «чистой» энергетики. В Украине повышенные «зеленые» тарифы были законодательно введены в 2009 году. По зеленым ценам в Украине можно продавать энергию, выработанную с помощью установок, использующих солнце, ветер, биомассу, а также небольших гидроэлектростанций. Украинские «зеленые» тарифы привязаны к «евро» и

пересматриваются Национальной комиссией по регулированию электроэнергии ежемесячно. Если средняя цена кВт-ч. электроэнергии на оптовом рынке равна 0,39 грн., то кВт-ч энергии ветра продается в энергетический рынок по 1,3 грн., «солнечный» кВт-ч обойдется в 5,33 грн. а малые ГЭС производят энергию по 0,89 грн. Многие участники рынка признаются, что механизмы подключения альтернативных электростанций к энергосетям – вопрос сложный и неурегулированный, но «зеленый» тариф привлекает в Украину инвестиции, стимулирует развитие возобновляемой энергетики [12, 13, 14, 15].

С учетом выше изложенного целью данной работы является обоснование параметров выбора гидроэнергетического оборудования для нетрадиционного источника электрической энергии, который мог бы позволить сократить затраты, связанные с энергообеспечением водопроводной очистной станции г. Симферополя (ВОС).

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Источником возобновляемой энергии, в данном случае является Партизанское водохранилище, которое расположено на реке Альма. Полезный объем водохранилища оставляет 34,4 млн. м<sup>3</sup>, отметка НПУ 272 м., отметка минимального расчетного уровня водозабора - 245 м. На ВОС вода поступает по стальному подводному трубопроводу диаметром 1000 мм, длиной 4100 м. Сокращенный профиль водозабора и самотечного водовода представлены на рис 2.

Для выбора энергетического оборудования первоначально следовало определить потребность ВОС в энергии. Собственные нужды гидроузла включают в себя затраты связанные с энергообеспечением всего технологического комплекса водопроводной очистной станции (ВОС): реагентного хозяйства, системы отопления и вентиляции, внутреннего и наружного освещения. Перечень оборудования и количество потребляемой энергии приведены в таблице 1.

Для подбора марки турбины следовало проанализировать данные по подаче  $Q$  и напору  $H$ .

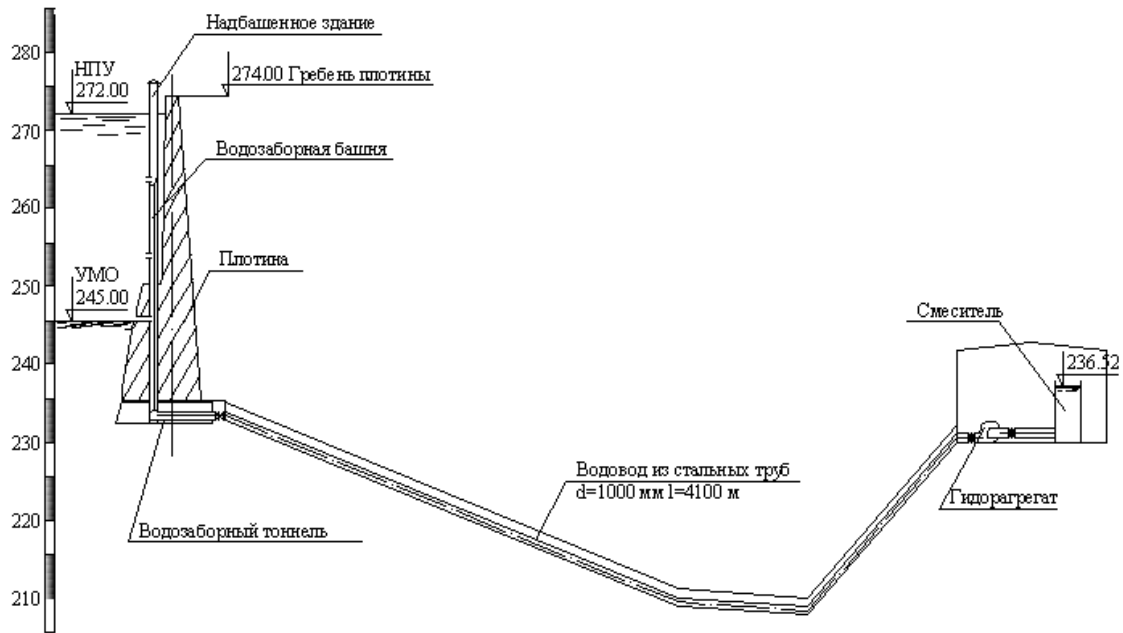


Рис. 2. Сокращенный профиль водозабора и самотечного водовода к площадке ВОС

Fig. 2. Reduced water in take profile and gravity water main to the site of the WCS

Для анализа были использованы отчетные данные службы эксплуатации Партизанского гидроузла о фактических расходах и напорах воды в самотечном водоводе от водохранилища

до площадки ВОС за 8 лет. Сводные данные о подачах на ВОС приведенные в табл. 2. Результаты статистической обработки сводных данных по подачам из табл. 2 представлены на рис. 3.

Таблица 1. Определение количества потребляемой энергии для собственных нужд ВОС

Table 1. Determination of the amount of energy consumed for own needs WCS

| N п/п | Наименование потребителя       | Потребляемая мощность N, кВт | Продолжительность работы в течение суток, ч | Потребляемая мощность в течение суток N, кВт |
|-------|--------------------------------|------------------------------|---|--|
| 1     | Воздуходувка                   | 90                           | 0,25  | 22,5   |
| 2     | Циркуляционный насос котельной | 15                           | 24  | 360  |
| 3     | Воздуходувный насос котельной  | 7                            | 24  | 168  |
| 4     | Токарный станок                | 7                            | 4   | 28   |
| 5     | Сварочный аппарат              | 5                            | 4   | 20   |
| 6     | Освещение                      | 50                           | 12  | 600  |
| 7     | Задвижки                       | 3                            | 20  | 60   |
| 8     | Насос для промывки фильтров    | 160                          | 2   | 320  |
| 9     | Лаборатория                    | 10                           | 24  | 240  |
| 10    | Электрический бойлер           | 10                           | 24  | 240  |
| 11    | Насос-дозатор                  | 3                            | 4   | 12   |
| 12    | Грузоподъемные механизмы       | 10                           | 2   | 20   |
|       | Итого                          | 370                          |   | 2090,5                                       |

Таблица 2. Расчет среднегодовой подачи воды на ВОС  
Table 2. Calculation of mid-annual water delivery an WCS

| Месяц    | Значение подачи воды на ВОС по годам в тыс. м <sup>3</sup> |       |         |         |         |         |         |         |
|----------|--|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|          | 1997   | 1998  | 1999    | 2000    | 2001    | 2002    | 2003    | 2004    |
| Январь   | 1537   | 2139  | 1671    | 751,9   | 2126,2  | 1210,8  | 1461,2  | 1290,1  |
| Февраль  | 1575   | 1365  | 1490    | 672,5   | 1812,7  | 1055,3  | 1204    | 1331,2  |
| Март     | 1390   | 795   | 2155    | 747,9   | 1945,2  | 1009,4  | 1381,6  | 1338,1  |
| Апрель   | 1626   | 1373  | 2101,5  | 1940,4  | 1777,9  | 1077,7  | 1344,2  | 1348,7  |
| Май      | 1900   | 1991  | 2127,5  | 2120    | 1926    | 1064    | 1596,2  | 1384,9  |
| Июнь     | 1570   | 1997  | 1940,1  | 1477    | 1838,6  | 1648,8  | 1699,2  | 1410,9  |
| Июль     | 1848   | 1585  | 2082,8  | 2086    | 1926,6  | 1935,6  | 1535,7  | 1515,4  |
| Август   | 1719   | 1785  | 2056,8  | 2160,5  | 1846,8  | 1469,2  | 1614,1  | 1403,5  |
| Сентябрь | 1734   | 1237  | 2054,9  | 1936,1  | 1553,8  | 1539,8  | 1535,6  | 1310,6  |
| Октябрь  | 2096   | 1655  | 1226    | 2147,6  | 1409,1  | 1391,3  | 1494,3  | 1406,4  |
| Ноябрь   | 1975   | 1632  | 784     | 2069,9  | 1096,4  | 1312,1  | 1354,6  | 1349,5  |
| Декабрь  | 2061   | 1688  | 659,8   | 2174,5  | 1021,8  | 1431,9  | 1351    | 1379,9  |
| Итого за | 20019  | 19422 | 20349,9 | 20284,3 | 20271,1 | 16145,9 | 17571,7 | 16469,2 |

Проверкой по критерию согласия Пирсона [16, 17] установлено, что измеренные величины подач воды на ВОС по годам описываются нормальным законом распределения, для которого дифференциальная функция распределения подач представляется в виде:

$$f(Q) = 0,448 \cdot \exp[-29,412 \cdot (Q - 0,584)^2], \quad (1)$$

и имеет следующие параметры: минимальная подача -  $Q_{\min} = 0,255 \text{ м}^3/\text{с}$ ; максимальная подача -  $Q_{\max} = 0,839 \text{ м}^3/\text{с}$ , математическое ожидание -

$M(Q) = 0,584 \text{ м}^3/\text{с}$ , среднее квадратическое отклонение -  $\sigma_Q = 0,592 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Статистические данные о напорах приведены в табл. 3

Для данных условий была выбрана высоконапорная турбина Френсиса, марки ФГ-2-38. Турбина отличается простотой конструкции, надежностью в эксплуатации и низкой ценой.

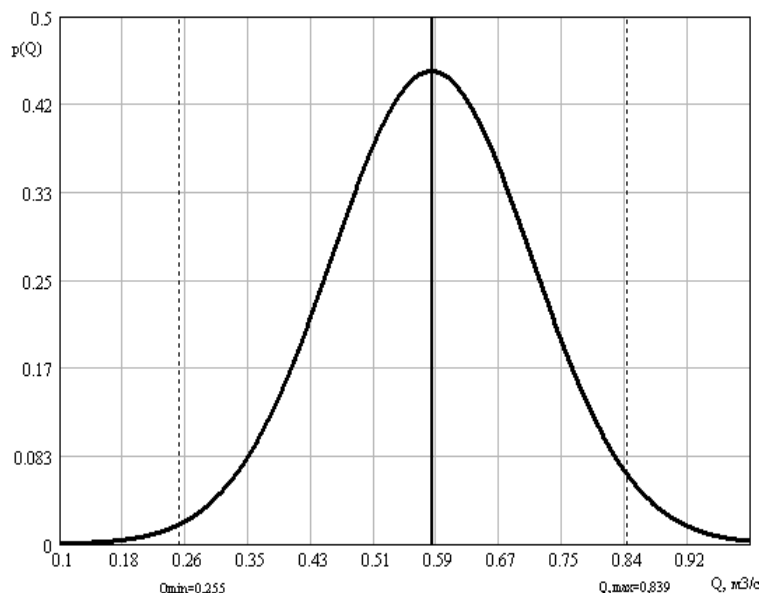


Рис. 3. Результаты статистической обработки измерений подач воды на ВОС  
Fig. 3. Result of processing of measurements of water delivery an WCS

Данное оборудование установлено и успешно эксплуатируется на 40 ГЭС в России, Украине, Латвии, Грузии. В 2008 г. отечественным предприятием изготовлены и поставлены для ГЭС в Прикарпатье турбины

В 2009 г. изготовлены две пропеллерные трубные гидротурбины Т-90 с регулируемым направляющим аппаратом мощностью по 500 кВт для Яблунецкой ГЭС в Черновицкой области, две турбины Френсиса ФГ-4 мощностью по 1100 кВт для Шахимарданской ГЭС в Узбекистане.

Турбина марки ФГ-2-38 спирально – радиально осевая с регулируемым поворотным направляющим аппаратом, обеспечивающим устойчивую работу в диапазоне напоров нетто 12-28 м при колебании расходов от 0,2 до 0,4 м<sup>3</sup>/с. Основные параметры турбины:

- расчетный напор нетто,  $H_p = 28 м$ ,
- максимальный расход воды через турбину при расчетном напоре,  $Q_p = 0,4 м^3 / с$ ,
- номинальная мощность турбины при  $H_p$  и  $Q_p$ ,  $N_{турб} = 100 кВт$ .

Френсиса мощностью 315 кВт (турбина ФГ-2), 630 кВт (турбина ФГ-6), трубная турбина Т-50 мощностью 100 кВт и две трубные турбины Т-32 по 55 кВт; две турбины Френсиса ФГ-3 по 400 кВт для Сулори ГЭС в Грузии.

- номинальная мощность агрегата при  $H_p$  и  $Q_p$ ,  $N_{агр} = 100 кВт$ ;

- частота вращения, номинальная,  $n = 750 об / мин$ ,

- КПД турбины максимальный, 91%,

- высота отсасывания,  $H_s = -4 \dots -5 м$ .

Эксплуатационные характеристики агрегата с турбиной ФГ-2-38 представлены на рис. 4.

Генерируемая мощность мини ГЭС может превышать потребляемую мощность оборудования собственных нужд. Избыточная мощность генераторов в этом случае гасится балластной нагрузкой системы автоматического управления генераторами. Установленная мощность оборудования собственных нужд составляет 370 кВт. С учетом неравномерной работы одновременная максимальная потребляемая мощность оборудования составляет 25% или 92 кВт. Техничко-экономические показатели проекта:

Таблица 3. Расчет среднегодового напора воды на входе ВОС  
Table 3. Calculation on a mid-annual pressure of water input WCS

| Месяц        | Значение напоров воды на ВОС по годам в тыс. м <sup>3</sup> |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Напоры за 10 лет | Напор в среднем за год |
|--------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|------------------------|
|              | 1995  | 1996  | 1997  | 1998  | 1999  | 2000  | 2001  | 2002  | 2003  | 2004  |                  |                        |
| Январь       | -   | 30,27 | 31,12 | 33,44 | 23,38 | 26,4  | 22,17 | 14,14 | 29,8  | 31,64 | 242,36           | 26,93                  |
| Февраль      | 23,96   | 30,04 | 31,92 | 33,5  | 23,00 | 31,76 | 20,64 | 15,96 | 33,66 | 33,71 | 278,15           | 27,82                  |
| Март         | 25,6  | 29,77 | 33,86 | 33,49 | 24,76 | 33,94 | 23,33 | 18,34 | 33,71 | 34,45 | 291,25           | 29,13                  |
| Апрель       | 30,68   | 31,34 | 34,17 | 34,26 | 25,75 | 34,53 | 22,87 | 27,69 | 34,13 | 34,83 | 310,25           | 31,03                  |
| Май          | 34,96   | 31,76 | 35,24 | 34,6  | 25,02 | 34,67 | 22,86 | 29,92 | 34,58 | 34,71 | 318,32           | 31,83                  |
| Июнь         | 34,48   | 30,66 | 35,2  | 34,64 | 22,69 | 34,00 | 23,76 | 28,92 | 34    | 34,63 | 312,98           | 31,3                   |
| Июль         | 34,43   | 28,73 | 35,09 | 33,53 | 24,6  | 32,88 | 22,73 | 27,46 | 32,83 | 34,18 | 306,46           | 30,65                  |
| Август       | 33,06   | 27,21 | 34,61 | 31,75 | 23,1  | 31,16 | 20,24 | 29,01 | 33,15 | 34,63 | 297,92           | 29,79                  |
| Сентябрь     | 31,71   | 27,01 | 34,23 | 30,14 | 20,52 | 29,56 | 17,51 | 28,68 | 32,21 | 34,43 | 286              | 28,6                   |
| Октябрь      | 30,49   | 28,98 | 34,25 | 28,9  | 18,06 | 27,85 | 14,95 | 28,35 | 31,25 | 33,61 | 276,69           | 27,67                  |
| Ноябрь       | 29,67   | 28,84 | 34,07 | 26,43 | 17,23 | 25,87 | 12,58 | 29,76 | 31,15 | 32,85 | 268,45           | 26,85                  |
| Декабрь      | 34,25   | 28,32 | 33,35 | 24,63 | 16,86 | 23,85 | 12,92 | 29,33 | 31,21 | 32,95 | 267,67           | 26,77                  |
| Итого за год | 31,21   | 29,41 | 33,93 | 31,61 | 22,08 | 30,54 | 19,71 | 25,63 | 32,64 | 33,89 |                  | 29,03                  |

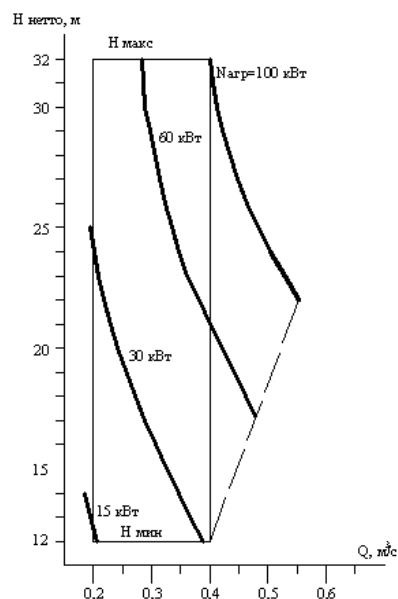


Рис. 4. Эксплуатационная характеристика гидроагрегата с радиально-осевой турбиной ФГ-2-38 частотой вращения  $n=750$  об/мин

Fig. 4. The operational characteristic of the hydrounit with the roodially – axial turbine and frequency of rotation

Таблица 4. Техничко-экономические показатели проекта

Table 4. Technical and economic indicators of the project

| N п/п | Наименование показателя               | Ед. изм.                         | Количество | Примечание                         |
|-------|---------------------------------------|----------------------------------|------------|------------------------------------|
| 1     | Гидротурбины ФГ-2-38                  | шт.                              | 2          | «МИНИГИДРО» г. Харьков             |
|       | - расход турбины                      | м <sup>3</sup> /с                | 0,2-0,4    |                                    |
|       | - напор (нетто)                       | м                                | 12-30      |                                    |
|       | - мощность                            | кВт                              | 30-100     |                                    |
|       | - мощность станции                    | кВт                              | 30-200     |                                    |
| 2     | Генераторы 5 АМЗ15М8                  | шт.                              | 2          |                                    |
|       | - мощность генератора                 | кВт                              | 110        |                                    |
|       | - частота вращения                    | об/мин                           | 750        |                                    |
|       | - напряжение                          | U                                | 380        |                                    |
|       | - частота тока                        | Гц                               | 50         |                                    |
| 3     | Схема работы гидростанции             | Параллельно с промышленной сетью |            |                                    |
| 4     | Использование генерирующей мощности   | На собственные нужды гидроузла   |            |                                    |
| 5     | Среднегодовая проектная выработка ГЭС | тыс. кВт                         | 963        | Стоимость 1 кВт/час 0,4 грн.       |
| 6     | Продолжительность строительства       | мес.                             | 3,0        |                                    |
| 7     | Стоимость строительства               | тыс. грн.                        | 2228,455   | В ценах 2008 года                  |
|       | - в т.ч. СМР                          | тыс. грн.                        | 405,171    |                                    |
| 8     | Срок окупаемости                      | лет                              | 5          | При росте стоимости электроэнергии |

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Конечной целью технико-экономических расчетов является получение экономической эффективности от применения технологического решения. Благодаря предложенному проекту возможно получение следующих результатов:

- Среднегодовая выработка Мини ГЭС составит 963 тыс. кВт;
- Капиталовложения в строительство составят 2228,5 тыс. грн.;
- Стоимость вырабатываемой энергии 385 тыс. грн.;



- Амортизационные отчисления - 44,6 тыс./год;

- Себестоимость одного кВт/час генерируемой мощности Мини-ГЭС составляет 5 коп.

Срок окупаемости 5 лет.

Дополнительного эксплуатационного персонала для обслуживания Мини ГЭС не предусматривается, обслуживание ее вменяется существующему эксплуатационному персоналу.

Проанализировав полученные результаты можно сделать вывод о том, что применение Мини ГЭС позволит не только сэкономить предприятию средства, но даже после истечения срока окупаемости получать прибыль от реализации поученной электроэнергии.

### ВЫВОДЫ

1. В результате литературного анализа зарубежных исследований было выяснено, что для уменьшения энергозатрат на производство в последнее время наибольшее распространение получило использование энергии, полученной из возобновляемых нетрадиционных источников.
2. Определены потребности ВОС в электроэнергии, и они составляют 370 кВт.
3. Рассмотрена технологическая схема выработки электроэнергии с применением турбины Френсиса.
4. Подсчитан ожидаемый экономический эффект после ее внедрения на Партизанском гидроузле.
5. Определена ожидаемая прибыль предприятия от реализации по зеленому тарифу полученной электроэнергии.
6. Рассчитана окупаемость данного проекта, и она составляет 5 лет.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Kalinkevich N, Kalashnikov A, Hontar O., Ignatenko V, Slobodyan O., 2008. Theoretical and experimental reaserarches of return channels of turbomachines. MOTROL - №10А, 71-77.
2. Дашенко А., Николенко В., 2008. Повышение энергетической эффективности силовых агрегатов гидравлических систем. MOTROL - №10А, 173 - 180.
3. Сидорчук О., Боярчук В., Бабич М., Фтома Р., 2008. Використання енергетичного потенціалу малих гірських річок. MOTROL - №10А, 208 - 212.
4. Сиваев, Гордеев, Лыкова, 2010. Институциональные проблемы повышения энергоэффективности жилищного и бюджетного секторов. Институт экономики города. - 100.
5. Учпедгиз. 1957. Бесплотинные гидроэлектростанции. - 62.
6. Правила и инструкции. МЭРФ, 2004. Рекомендации по проектированию технологической

части гидроэлектростанций и гидроаккумулирующих электростанций. - 104.

7. European Small Hydropower Association, Brussels, Belgium, 2009. Sustainable Small Hydro, - 31.

8. Энвер Салиев, 2009. Проблемы развития малой гидроэнергетики на системах водопроводно-канализационного хозяйства Автономной Республики Крым. MOTROL - №11А, 33 - 34.

9. Наталия Ветрова, 2010. Особенности современного состояния проблемы энергосбережения Крыма. MOTROL - №12С, 121 - 128.

10. Николенко И., Пастушенко А., Котовская Е., Бойчук С., 2010. Анализ влияния условий эксплуатации насосной станции на параметры насосных агрегатов. MOTROL - №12С, 36 - 47.

11. Николенко И.В., Пастушенко А.В., Котовская Е. Е., 2010. Обоснование оптимальных параметров насосных агрегатов с учетом условий эксплуатации. // Науковий вісник будівництва. Зб наук. праць. — Харків. — Вип. 60. — 212—222.

12. Закон Украины «Про енергоснабжение» 01.06.1994 г. №74/94-ВР.

13. Закон Украины «Про електроенергетику» 16.10.1997 г. №575/97-ВР.

14. Закон Украины «Про комбінорованне виробство теплової і електричної енергії (когенерацію) і використання сбросного потенціала». 5.04. 2005 г №2509-IV.

15. Постановление Национальной комиссии, что осуществляет государственное регулирование в сфере энергетики 01.04.2013 г. №366.

16. Бурмулов Ф.Х. Мировская Е.А., 1981. Основы теории вероятностей и математической статистики. – М.: Издательство стандартов – 164 с.

17. Гмурман В.Е., 1979. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа,. – 400 с.

### ENERGY EFFICIENT TECHNOLOGIES IN SIMFEROPOL WATER SUPPLY ENTERPRISE

**Summary.** The paper presents the study of the possibilities of using renewable energy efficiency of the whole enterprise. Needs of water treatment plants in the electricity identified. Questions connected with electric power realization under “the green” tariff are clarified the principle of work of turbine Frensis is resulted. The technological scheme of reseption of the electric power from renewed natural sources is presented. The profit of the enterprise on the realized received electric power is defined.

**Key words:** Renewed energy sources hydrosystem, water treatment plants, “the green” tariff, the turbine of Frensis, the reconstruction project, hydroelectric, power station, water supply system.



## СНИЖЕНИЕ АГРЕГАТИВНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ КОЛЛОИДНОЙ ПРИМЕСИ ПРИРОДНЫХ ВОД АКТИВИРОВАННЫМ РАСТВОРОМ КОАГУЛЯНТА СУЛЬФАТА АЛЮМИНИЯ

Степан Эпоян, Станислав Душкин

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры  
Адрес: Украина, г. Харьков, ул. Сумская, 40  
E-mail: D.akaSS@mail.ru

**Аннотация.** Рассматривается влияние активированного раствора коагулянта сульфата алюминия на снижение электрокинетического потенциала коллоидных примесей при очистке природных вод. Установлено, что снижение агрегативной устойчивости коллоидных примесей природных вод позволяет интенсифицировать работу очистных сооружений при подготовке питьевой воды.

**Ключевые слова:** очистка воды, коллоидные примеси, электрокинетический потенциал, активированные растворы

### ВВЕДЕНИЕ

Специфика питьевого водоснабжения в Украине состоит в том, что оно на 75% базируется на поверхностных источниках и зависит от их экологической безопасности. Возрастание риска и снижение безопасности систем водоснабжения объясняется, во-первых, значительным уменьшением запасов воды; а во-вторых – резким ухудшением качества природных вод [4, 14, 21].

Природная вода представляет собой многокомпонентную динамическую систему, в состав которой входят газы, минеральные и органические вещества, находящиеся в истинно растворенном, коллоидном и взвешенном состояниях, а также микроорганизмы [2, 11].

Для осветления и обесцвечивания воды, т.е. для удаления из нее взвешенных и коллоидных примесей, обуславливающих ее мутность и цветность, на современных водоочистных станциях используют два основных технологических процесса: осаждение и фильтрование. При осаждении взвешенные вещества выпадают в осадок. При фильтровании частицы взвеси задерживаются на поверхности или в порах пористой среды, через которую пропускается очищаемая вода. Процесс осаждения осуществляется в отстойниках, процесс фильтрования – на фильтрах [1, 3, 9].

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

В настоящее время уделяется внимание вопросам интенсификации процесса очистки природных и сточных вод, усовершенствованию его технологии, разработке новых эффективных методов интенсификации очистки воды. Это позволит упростить существующую технологию обработки воды, сократить трудоемкие процессы приготовления и дозирования реагентов, уменьшить затраты на эксплуатацию очистных сооружений, увеличить их производительность, повысить

качество и уменьшить себестоимость очищенной воды [5, 9].

В последнее время все большее значение для решения этой проблемы приобретают физические методы, основанные на воздействии на водную систему внешних полей (магнитных, электрических, ультразвуковых и др.). Эти методы очистки воды универсальны, эффективны и экономичны.

Перспективным методом очистки коллоидно-дисперсных систем является обработка их реагентами, подвергнутыми магнитно-электрической активации, осуществляемой в специальных устройствах – активаторах реагентов. Метод применим для очистки большинства примесей коллоидной степени дисперсности, и начинает использоваться в промышленной технологии очистки природных и сточных вод [8].

Для ускорения процессов осаждения и фильтрования и повышения эффекта осветления и обесцвечивания применяют химическую обработку воды. В связи с этим технология осветления и обесцвечивания дополняется рядом вспомогательных технологических процессов, которые в совокупности называются коагулированием воды. Оно состоит из следующих технологических процессов: заготовки и дозирования химических реагентов, смешения их с обрабатываемой водой, коагуляции взвешенных и коллоидных примесей [10].

Процесс коагуляции взвешенных и коллоидных примесей может быть осуществлен как самостоятельная ступень в технологической схеме обработки воды, предшествующая осаждению и фильтрованию. Он может также сочетаться с процессом осаждения или фильтрования. Как самостоятельная ступень процесс коагуляции осуществляется в камерах хлопьеобразования, в сочетании с осаждением – в осветлителях со взвешенным осадком, в сочетании с фильтрованием – в контактных осветлителях [12, 15].

Обработка воды активированным раствором коагулянта позволяет увеличить гидравлическую

крупность коагулированной взвеси. Наиболее сильное влияние активированный раствор коагулянта оказывает на гидравлическую крупность взвеси 0,2 мм/с и меньше, т.е. на наиболее мелкую и трудноудаляемую взвесь, что создает условия для более интенсивного осаждения ее в отстойниках и повышения качества осветления воды, подаваемой на скорые фильтры [19].

Эффективность осветления воды зависит как от параметров активации (напряженность магнитного поля и количество анодно-растворенного железа в растворе коагулянта), так и от качественных показателей осветляемой воды. Именно этим вызвано, по-видимому, различие в оптимальных режимах активирования раствора коагулянта, использованных для осветления воды р. Днепр, канала Северский Донец – Донбасс и модельной воды харьковского водопровода [17, 19].

Установлено, что использование активированного раствора коагулянта сульфата алюминия при коагуляции примесей осветляемой воды позволяет снизить остаточное содержание алюминия в осветленной воде в среднем на 50–60%, качество очистки воды по бактериологическим и гидробиологическим показателям при использовании активированного раствора коагулянта значительно выше, чем при обработке воды обычным раствором коагулянта, аналогичное явление наблюдается при анализе показателей по coli-index [16, 18].

Опытные данные свидетельствуют, что обработка воды активированным раствором коагулянта позволяет интенсифицировать процесс фильтрования воды, что сказывается на продолжительности защитного действия загрузки  $t_3$  и времени достижения предельно допустимой потери напора  $t_H$ : в среднем  $t_3$  увеличивается на 32,1%, а  $t_H$  – в среднем 26,6% [12].

Анализ опытных данных показывает, что эффективность применения активированного раствора коагулянта с увеличением содержания взвешенных веществ в исходной воде повышается и достигает максимальных значений 100–250 мг/дм<sup>3</sup>, далее наблюдается тенденция к уменьшению эффективности. Цветность осветленной воды при обработке ее активированным раствором коагулянта находится, примерно, на одном уровне и не зависит от содержания взвешенных веществ в исходной воде [7, 20].

## ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью данной работы является выполнение специальных исследований, позволяющих с качественной стороны объяснить интенсификацию процессов очистки воды в системах водоснабжения

с помощью активированного раствора коагулянта [8, 13].

Агрегативная устойчивость коллоидных систем характеризуется не только наличием электростатических сил отталкивания, но и другими факторами, основным из которых является гидратация частиц, т.е. образование на их поверхности оболочек из молекул дисперсионной среды. В гидрофобных зольях после достижения пороговых концентраций электролитов наблюдаются явные признаки коагуляции, поскольку происходит сжатие двойного слоя и соответствующее уменьшение гидратных оболочек, что позволяет коллоидным частицам сближаться на расстояние, при котором энергия их взаимного притяжения превышает энергию теплового (броунского) движения. Изменение толщины диффузного слоя характеризуется величиной электрокинетического потенциала ( $\xi$ -потенциала). Чем сильнее размыт диффузный слой, тем выше  $\xi$ -потенциал и, наоборот, при предельном сжатии диффузного слоя  $\xi$ -потенциал приближается к нулю. При значении  $\xi$ -потенциала,  $\xi=0$ , коллоидная частица не несет на себе заряд по отношению к среде, поэтому гидратная оболочка минимальна. Такому изоэлектрическому состоянию частиц соответствует минимальная устойчивость системы и наиболее выраженная коагуляция. На основании сказанного величину  $\xi$ -потенциала можно считать основным критерием полноты протекания процесса коагуляции [9, 11].

## ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Основным критерием полноты протекания процесса коагуляции можно считать величину электрокинетического потенциала ( $\xi$ -потенциала), которая характеризуется не только наличием электростатических сил отталкивания, но и другими факторами, основным из которых является гидратация частиц, т.е. образование на их поверхности оболочек из молекул дисперсионной среды. В гидрофобных зольях после достижения пороговых концентраций электролитов наблюдаются явные признаки коагуляции, поскольку происходит сжатие двойного слоя и соответствующее уменьшение гидратных оболочек, что позволяет коллоидным частицам сближаться на расстояние, при котором энергия их взаимного притяжения превышает энергию теплового (броунского) движения. Изменение толщины диффузного слоя характеризуется величиной электрокинетического потенциала ( $\xi$ -потенциала). Чем сильнее размыт диффузный слой, тем выше  $\xi$ -потенциал и, наоборот, при предельном сжатии диффузного слоя  $\xi$ -потенциал приближается к нулю. При значении  $\xi$ -потенциала,  $\xi=0$ , коллоидная частица не несет на себе заряд по отношению к среде, поэтому гидратная оболочка минимальна. Такому изоэлектрическому состоянию частиц соответствует минимальная устойчивость системы и

наиболее выраженная коагуляция. На основании сказанного величину  $\xi$ -потенциала можно считать основным критерием полноты протекания процесса коагуляции.

Измерение  $\xi$ -потенциала гидроксида алюминия определяли методом подвижной границы в электрофоретической трубке по методу Е.Ф. Буртона. Электрокинетический потенциал определяли по методу Гельгольца-Смолуховского:

Эффективность влияния магнитно-электрической обработки золя гидроксида алюминия на снижение величины  $\xi$ -потенциала определяли уравнением:

$$\mathcal{E}_\xi = \frac{\xi_0 - \xi_1}{\xi_0} 100\% \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}_\xi$  - эффективность влияния магнитно-электрической обработки золя гидроксида алюминия на снижение  $\xi$ -потенциала, %;

$\xi_0$  - электрокинетический потенциал золя гидроксида алюминия в условиях обычной коагуляции, мВ;

$\xi_1$  - то же в условиях коагуляции золя гидроксида алюминия, подвергнутого магнитно-электрической обработке, мВ.

Основные положения методики проведения исследований изложены в работе [6].

Выполнены три серии экспериментов, позволяющих оценить снижение электрокинетического потенциала золя гидроксида

алюминия в зависимости от способа активации, а именно:

I серия эксперимента - активация магнитным полем;

II серия эксперимента - электрокоагуляционная активация;

III серия эксперимента - магнитно-электрическая активация.

Результаты выполненных исследований приведены в табл. 1 и на рис. 1,2.

Установлено, что на снижение  $\xi$ -потенциала золя гидроксида алюминия незначительно (2,9-5,4%) влияет магнитная активация, несколько больше - электрокоагуляционная активация, где раствор насыщается анодно-растворенным железом (рис. 1). Максимальное снижение  $\xi$ -потенциала золя  $Al(OH)_3$  достигается при магнитно-электрической активации. Наибольшее снижение - при напряженности магнитного поля 350 кА/м и содержание анодно-растворенного железа - 525 мг/дм<sup>3</sup> (рис. 2).

Оценка надежности результатов выполненных экспериментов (табл. 1) показывает хорошую воспроизводимость опытных данных в пределах доверительного интервала, рассчитанного на основании четырех параллельно выполненных опытов [8, 12].

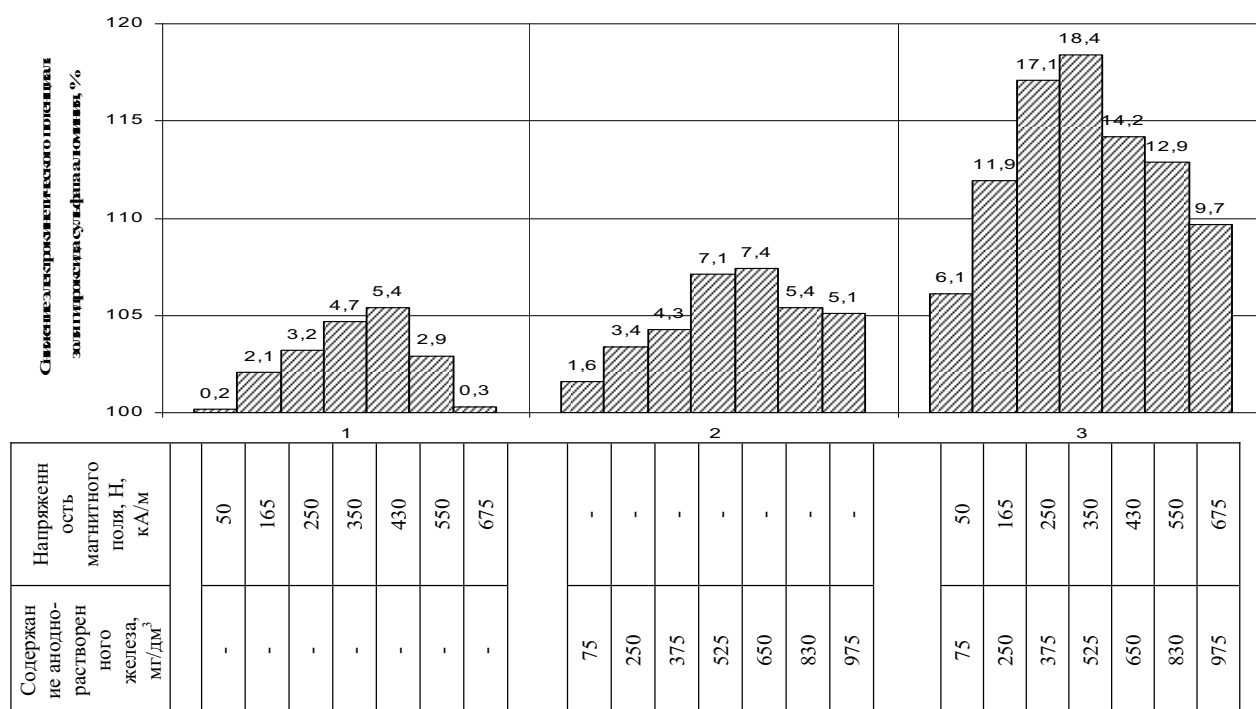
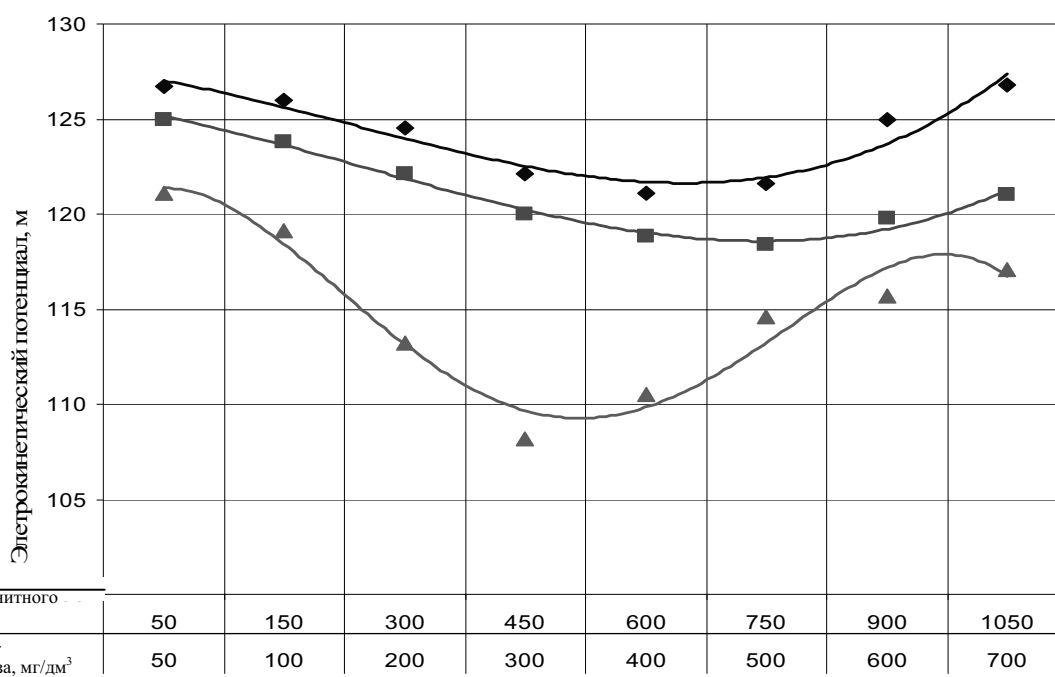


Рис. 1 Снижение электрокинетического потенциала золя гидроксида алюминия в зависимости от способа активации

Fig. 1 Decline of electrokinetic potential of zolya of aluminum hydroxide depending on the method of activating



- ◆ I серия - магнитная активация
- II серия - электрокоагуляционная активация
- ▲ III серия - магнитно-электрическая активация

Примечание:

I серия –  $\xi_0 = 127,5$  мВ; II серия –  $\xi_0 = 126,9$  мВ; III серия –  $\xi_0 = 128,6$  мВ;  $\xi_0$  – электрокинетический потенциал при отсутствии активации.

Рис. 2 Влияние активированного раствора сульфата алюминия на величину  $\xi$  – потенциала золя гидроксида алюминия  
 Fig. 2 Influence of the activated aluminum sulfate solution by the size  $\xi$  - potential of zolya of aluminum hydroxide

Таблица 1. Влияние активированного раствора сульфата алюминия на электрокинетический потенциал золя алюминия  
Table 1. Influence of the activated solution of aluminium sulfate on electrokinetic potential of zolya of aluminium

| Параметры активации   |  | Величина $\xi$ -потенциала, мВ | Снижение величины $\xi$ -потенциала, % | Величина доверительного интервала, (a), мВ, ( $\gamma=0,95$ ); (n=4) |
|---|--|--------------------------------|--|--|
| напряженность магнитного поля, Н, кА/м                        | содержание анодно-растворенного железа, $Fe^{3+}$ , мг/дм <sup>3</sup> |                                |  |  |
| I серия экспериментов<br>(активация магнитным полем)          |  |                                |  |  |
| -   | -  | 127,5                          | -                                      | 126,3<a<128,6  |
| 50  | -  | 126,7                          | 0,2                                    | -  |
| 165   | -  | 124,9                          | 2,1                                    | -  |
| 250   | -  | 122,7                          | 3,9                                    | -  |
| 350   | -  | 121,7                          | 4,7                                    | 121,1<a<122,9  |
| 430   | -  | 120,9                          | 5,4                                    | 119,4<a<122,3  |
| 550   | -  | 123,8                          | 2,9                                    | -  |
| 675   | -  | 126,6                          | 0,3                                    | -  |
| II серия экспериментов<br>(электрокоагуляционная активация)   |  |                                |  |  |
| -   | -  | 126,9                          | -                                      | 125,1<a<127,7  |
| -   | 75   | 124,9                          | 1,6                                    | -  |
| -   | 250  | 122,7                          | 3,4                                    | 121,2<a<123,8  |
| -   | 375  | 121,6                          | 4,3                                    | -  |
| -   | 525  | 118,5                          | 7,1                                    | 116,9<a<120,1  |
| -   | 650  | 118,1                          | 7,4                                    | -  |
| -   | 830  | 120,3                          | 5,4                                    | -  |
| -   | 975  | 120,8                          | 5,1                                    | -  |
| III серия экспериментов<br>(магнитно-электрическая активация) |  |                                |  |  |
| -   | -  | 128,6                          | -                                      | 127,3<a<129,6  |
| 50  | 75   | 121,2                          | 6,1                                    | -  |
| 165   | 250  | 114,9                          | 11,9                                   | 112,5<a<115,8  |
| 250   | 375  | 109,8                          | 17,1                                   | -  |
| 350   | 525  | 107,7                          | 19,4                                   | 105,6<a<108,8  |
| 430   | 650  | 112,6                          | 14,2                                   | -  |
| 550   | 830  | 113,9                          | 12,9                                   | -  |
| 675   | 975  | 117,2                          | 9,7                                    | -  |

### ВЫВОДЫ

Таким образом, снижение агрегативной устойчивости коллоидных примесей при активировании раствором сульфата алюминия создает предпосылки для интенсификации процесса коагуляции при подготовке воды в системах водоснабжения

### ЛИТЕРАТУРА

- Абрамов Н., 1974. Водоснабжение. - М.: Стройиздат. - 480.
- Благодарная Г., Душкин С., 2007. Природные воды - многокомпонентные гетерогенные системы. Коммунальное хозяйство городов.// Научно-технич. сб. - Киев "Техника". - Вып. 74, 207-210.
- Валкина Е., Вернези С., Николаенко И., Богуцкий П., 2010. Использование методов водоочистки в новейших энергосберегающих технологиях.// MOTROL. - № 12С, 114-120.
- Василенко А., Грабовский П., Прогульный В., и др., 2007. Реконструкция и интенсификация сооружений водоснабжения и водоотведения. - Киев.: КНУСА, ОГАСА. - 307.
- Гончарук В., Клименко Н., Врубель Т., и др. 2006. Современные технологии подготовки питьевой воды. Химия и технология воды. - т. 28. - №1. - 3-10.
- Душкин С., 2012. Методологические аспекты проведения исследований при использовании активированных растворов коагулянтов в процессе очистки воды.// Научно-технич. сб. - Киев "Техника". - Вып. 105, 320-334.
- Душкин С., 2013. Санитарно-экологические требования к качеству питьевой воды.// Мат.

- научно-технической интернет конференции "Ресурсосбережение и энергоэффективность инженерной инфраструктуры урбанизированных территорий". - Харьков.: ХНАГХ, 82-83.
8. Душкин С., 2012. Активированные растворы реагентов в процессах очистки природных вод.// Мат. научно-технической конференции . - Харьков.: ХНАГХ, 126-127.
  9. Журба М., 2004. Подготовка воды для хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения.// Водоснабжение и санитарная техника, № 2, 10-13.
  10. Клячко В., Апелцин И., 1974. Очистка природных вод. -М.: Стройиздат. - 580.
  11. Кульский Л., Строкач П., 1980. Технология очистки природных вод. - К.: Наук. Думка. - 680.
  12. Найманов А., Никиша Н., Насонкина Н., и др., 2006. Водоснабжение. - Донецк.: Норд Компьютер. - 654.
  13. Солодовник М., Благодарная Г., Душкин С., 2009. Спосіб очищення води від дисперсних домішок. Патент України № 86545, Бюл. №8.
  14. Тугай А., Орлов О., 2009. Водопостачання. - К.: Знання. -735.
  15. Эпоян С., Сухоруков Г., Друшляк О., Шилін В., 2001. Водопостачання (очистка природных вод): навч. посібник. Х.: Основа, 191.
  16. Эпоян С., Душкин С., 2013. Повышение экологической безопасности питьевой воды при использовании активированного раствора коагулянта.// Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - Белгород: БГТУ им. Шухова. - Вып. 2, 156-158.
  17. Эпоян С., Душкин С., 2013. Интенсификация реагентных методов очистки воды.// Мат. конференції "Сучасні проблеми охорони довкілля та раціональне використання ресурсів у водному господарстві". - Київ.: Т-во "Знання" України, 45-48.
  18. Эпоян С., Душкин С., Сташук В., 2012. Анализ существующих методов повышения эффективности работы водопроводных сооружений для подготовки питьевой воды.// Науковий вісник будівництва. - Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, Вип. 67, 261-265.
  19. Эпоян С., Душкин С., 2012. Влияние активированных растворов сульфата и оксихлорида алюминия на эффективность осветления воды.// Науковий вісник будівництва. - Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, Вип. 69, 348-352.
  20. Эпоян С., Душкин С., 2012. Технологические схемы очистки воды, условия их применения. // Водопостачання та водовідведення. №4, 8-10.
  21. Яцик А., 2000. Водне господарство в Україні. - К.: Генеза, 546.

DECLINE OF AGGREGATE STABILITY OF COLLOID ADMIXTURE OF NATURAL WATERS BY THE ACTIVATED SOLUTION OF COAGULANT OF SULFATE OF ALUMINIUM

**Summary.** Influence of the activated solution of coagulant of sulfate aluminium is examined on the decline of electrokinetic potential of colloid admixtures at cleaning of natural waters. It is set that the decline of aggregate stability of colloid admixtures of natural waters allows intensifying work of sewage treatment plants at preparation of drinking-water.

**Key words:** water treatment, colloid admixtures, electrokinetic potential, activated solutions.



## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ПРОЧНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ВЯЖУЩИХ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКЕ ВОДОТВЕРДЫХ СУСПЕНЗИЙ

Михаил Лукьянченко, Арсен Джелал, Александр Струбалин

Национальная академия природоохранного и курортного строительства  
95043, Украина, г. Симферополь, ул. Киевская, 181. E-mail: lukmih@gmail.com

**Аннотация.** В статье описываются теоретические исследования и экспериментальные данные о влиянии ультразвуковой кавитации на активацию водотвердой суспензии. Показывается, что кавитация в водотвердых системах – сложный механический и физико-химический процесс, одним из которых является диспергирование частиц гипсового вяжущего. Устанавливается на основе релаксационной теории взаимосвязи между основными параметрическими характеристиками источника ультразвука и реологическими свойствами гипсонаполненной суспензии

**Ключевые слова:** гипсонаполненные системы, известняки, водотвердые суспензии, ультразвук, кавитация

### ВВЕДЕНИЕ

В последнее время в строительной индустрии наблюдается все более широкое применение различные гипсовых составов. Это связано со следующими факторами, характерными для данных материалов: эстетичность, экологичность, нормализация микроклимата помещений, низкая трудоемкость работ [1]. Одновременно с этим, актуальным направлением является разработка гипсонаполненных систем с максимальным использованием местной сырьевой базы. Как известно, основной объем природного камня из известняка-ракушечника разрабатывается в Одесской области и в Крыму. В настоящее время здесь эксплуатируется 30 карьеров по добыче пильного известняка с годовой производительностью более 3,5 млн. м<sup>3</sup>. Ежегодно отвалы горнодобывающих предприятий увеличиваются на 1 млн. м<sup>3</sup> известняка, и лишь половина этих отходов используется как вторичное сырье. Поэтому создание производств эффективных строительных материалов с использованием отходов камнепиления, как вторичного сырья, является актуальной. При этом необходимо развивать определенные методы, которые бы позволяли интенсифицировать технологические процессы [16, 19, 20]. Одним из таких методов значительного ускорения реакционных процессов и процессов обработки является применение упругих колебаний ультразвукового диапазона частот (> 20000 колебаний в секунду). Однако в технологии производства гипсонаполненных систем при активации процессов ультразвук (в режиме кавитации) достаточного применения еще не получил. Это связано, главным образом, с тремя причинами:

- не достаточно изучена теория явлений ультразвуковой кавитации;

- не созданы надежные и экономичные технологические установки;

- не достаточно изучено влияние технологических параметров на качественные характеристики гипсонаполненных систем.

### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

Целью исследования является:

- выявление некоторых закономерностей влияния ультразвуковой кавитации при обработке гипсо-известняковой суспензии на прочность образцов;

- определение влияния и взаимосвязи технологических параметров лабораторной ультразвуковой установки УЗТА-0,8/22-ОМ с параметрами водотвердой суспензии.

Цель работы обоснована производственными потребностями, которые ставят следующие задачи исследований:

- разработка эффективных источников ультразвуковых колебаний;

- определение оптимальных технологических параметров создания ультразвуковой кавитации в суспензиях;

- обеспечение обработки больших объемов рабочих смесей в короткое время.

### АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Первые работы, связанные с гипсонаполненными системами относятся к 50÷60-ым годам прошлого столетия. Так в работах Волженского А.В., Ферронской А.В [2, 3] анализируются физико-механические свойства и вопросы кинетики процесса твердения наполненных систем (в частности с различными наполнителями в виде перлита, вермикулита, смеси гипса с известью и т.д.).

Из последних работ в этой области исследований гипсовых строительных материалов повышенной прочности и водостойкости необходимо отметить

исследования Кондращенко Е.В. [4], в работах Недосеко И.В. [5] проведен анализ различных физико-механических свойств гипсовых композиций из отходов промышленности, рассмотрены вопросы кинетики их твердения и набора прочности.

Кавитационный процесс, основанный на ультразвуковом методе активации водотвердых суспензий, характеризуется сложностью и многофакторностью физико-химических явлений, происходящих в районе кавитационной полости [6, 7, 9, 11 – 13, 15, 17, 18]. Интерес к ультразвуковой технологической обработке водотвердых суспензий вызван тем, что с помощью ультразвука можно произвести воздействие на систему, с обеспечением неравновесного состояния, которое сохраняется длительное время. В течение этого времени происходит более полная гидратация водотвердой суспензии и, в дальнейшем, в процессе твердения ведет к улучшению структуры гипсового камня в материале.

Первая работа, в которой изложено влияние ультразвуковой вибрации на формирование цементного камня, была работа Х. Мауса в 1958 г. Дальнейшее развитие данного направления нашло в работах И.Н. Ахвердова, М.А. Шалимо, С.П. Зубрилова, Н.А. Плющ, И.М. Долгополова, А.П. Капустина и др. исследователей. Первая лабораторная установка с гидродинамическим ультразвуковым излучателем для активации цемента в Украине была создана в Днепропетровском инженерно-строительном институте (ДИСИ) в 1964 г. В.Г. Винником [7÷10].

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

При проведении экспериментальной части исследований использовались стандартные методики по определению предела прочности на сжатие гипсонаполненных образцов. Активация водотвердой суспензии производилась с использованием аппарата ультразвукового технологического «Волна» модель УЗТА-0,8/22-ОМ. Контрольные и опытные образцы размерами 40×40×160 мм изготавливались и испытывались по стандартной методике.

Испытания по определению предела прочности на сжатие проводились на лабораторном прессе марки П-125.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В табл. 1 приведены результаты исследований по определению прочностных характеристик гипсо-известняковых наполненных систем. В качестве наполнителя применялся мраморовидный известняк, как отход камнепиления ОАО карьер «Мраморный» АРК, с. Мраморное. Максимальные размеры частиц

известняка составляли – 0,63 мм. При этом анализировалось влияние на прочностные характеристики следующих технологических параметров:

- мощность ультразвука (максимальная интенсивность излучения прибора УЗТА-0,8/22-ОМ:

$$I_0 = 10 \frac{Vm}{cm^2}, \quad (1)$$

- время ультразвуковой кавитационной обработки гипсо-известняковой суспензии;

- концентрации твердой составляющей суспензии.

На основании проведенных исследований, построены графики зависимостей прочности гипсо-известняковых образцов в зависимости от мощности ультразвуковой кавитационной активации, времени активации и концентрации известняка в гипсонаполненной суспензии (см. рис. 1÷3).

На графиках показатель прочности контрольных образцов определен точками при времени активации соответствующей 0 сек.

Результаты анализа исследования ультразвуковой активации гипсо-известняковых систем при интенсивности ультразвукового потока в:

$$I_1 = 5 \frac{Vm}{cm^2}, \quad (2)$$

сведены в табл. 1.

Результаты анализа исследования ультразвуковой активации гипсо-известняковых систем при интенсивности ультразвукового потока в

$$I_1 = 7,5 \frac{Vm}{cm^2},$$

сведены в табл. 2.

Результаты анализа исследования ультразвуковой активации гипсо-известняковых систем при интенсивности ультразвукового потока в

$$I_1 = 10 \frac{Vm}{cm^2},$$

сведены в табл. 3.

Анализируя графики (рис. 1÷3) видно, что процесс активации ультразвуковым воздействием гипсонаполненных систем неоднозначный процесс и не описывается линейными зависимостями. Однако, общая тенденция, позволяющая определить максимальные значения увеличения прочности образцов в зависимости от времени активации, мощности источника ультразвука и концентрации твердой фазы суспензии, прослеживаются. Так, максимальное влияние на прочностные характеристики образцов гипсо-известняковых систем наблюдаются при интенсивности источника

ультразвука  $I_1 = 5 \frac{Vm}{cm^2}$  и времени активации от 90 до 150 сек при различных концентрациях известняка.

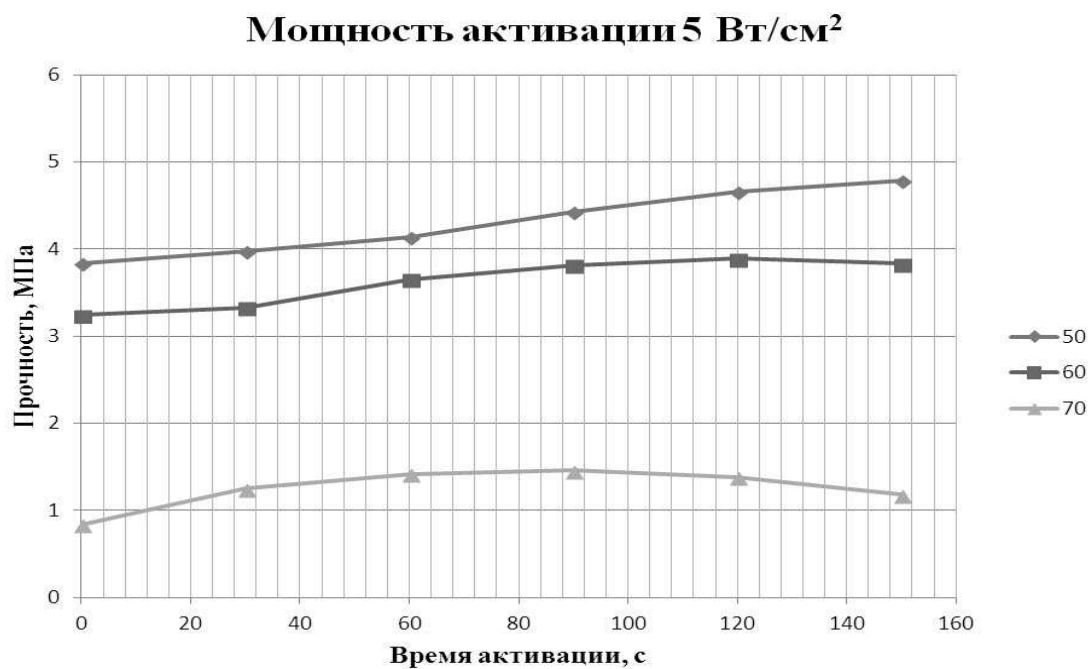


Рис. 1. Прочность гипсо-известняковых образцов в зависимости от продолжительности обработки при 50, 60 и 70 % концентрации мраморовидного известняка (мощность активации  $I_1 = 5 \frac{Вт}{см^2}$ ).

Fig. 1. Durability of gipso-limestone standards depending on duration of treatment at 50, 60 and 70 % concentrations of mramorovidnogo limestone (power of activating  $I_1 = 5 \frac{Вт}{см^2}$ ).

Таблица 1 Результаты анализа исследования ультразвуковой активации гипсо-известняковых систем при интенсивности ультразвукового потока  $I_1 = 5 \frac{Вт}{см^2}$ .

Table 1. Results of analysis of research of the ultrasonic activating of the gipso-limestone systems at intensity of ultrasonic stream  $I_1 = 5 \frac{Вт}{см^2}$ .

| Концентрация известняка, % | Прочность контрольных образцов, МПа | Максимальная прочность активированных образцов, МПа | Оптимальное время активации максимальной прочности), сек | Увеличение прочности образцов после активации, % |
|----------------------------|-------------------------------------|---|--|--|
| 1                          | 2                                   | 3   | 4  | 5  |
| 50                         | 3,9                                 | 4,8   | 150  | 23   |
| 60                         | 3,2                                 | 3,9   | 120  | 22   |
| 70                         | 0,8                                 | 1,5   | 90   | 87,5   |

### Мощность активации 7,5 Вт/см<sup>2</sup>

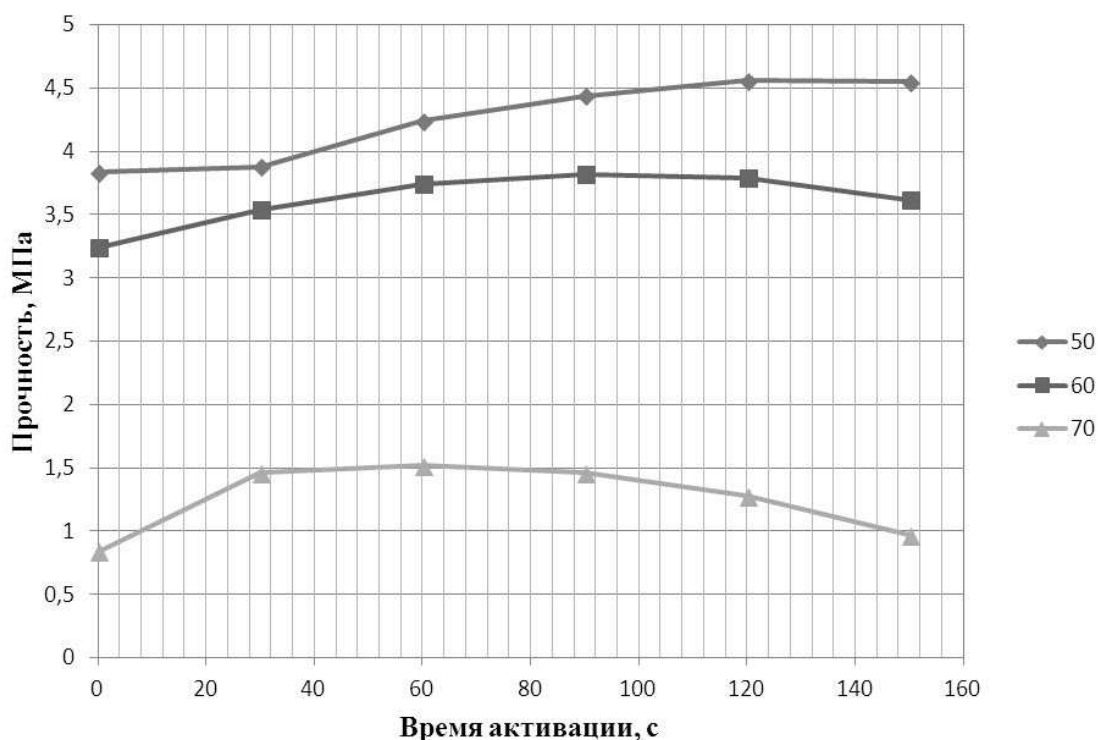


Рис. 2. Прочность гипсо-известняковых образцов в зависимости от продолжительности обработки при 50, 60 и 70 % концентрации мраморовидного известняка (мощность активации  $I_1 = 7,5 \frac{Вт}{см^2}$ ).

Fig. 2. Durability of gipso-limestone standards depending on duration of treatment at 50, 60 and 70 % concentrations of mramorovidnogo limestone (power of activating  $I_1 = 7,5 \frac{Вт}{см^2}$ ).

Таблица 2 Результаты анализа исследования ультразвуковой активации гипсо-известняковых систем при интенсивности ультразвукового потока  $I_1 = 7,5 \frac{Вт}{см^2}$ .

Table 2. Results of analysis of research of the ultrasonic activating of the gipso-limestone systems at intensity of ultrasonic stream  $I_1 = 7,5 \frac{Вт}{см^2}$ .

| Концентрация известняка, % | Прочность контрольных образцов, МПа | Максимальная прочность активированных образцов, МПа | Оптимальное время активации максимальной прочности), сек | Увеличение прочности образцов после активации, % |
|----------------------------|-------------------------------------|---|--|--|
| 1                          | 2                                   | 3   | 4  | 5  |
| 50                         | 3,9                                 | 4,6   | 120  | 18   |
| 60                         | 3,2                                 | 3,8   | 90   | 19   |
| 70                         | 0,8                                 | 1,5   | 60   | 87,5   |

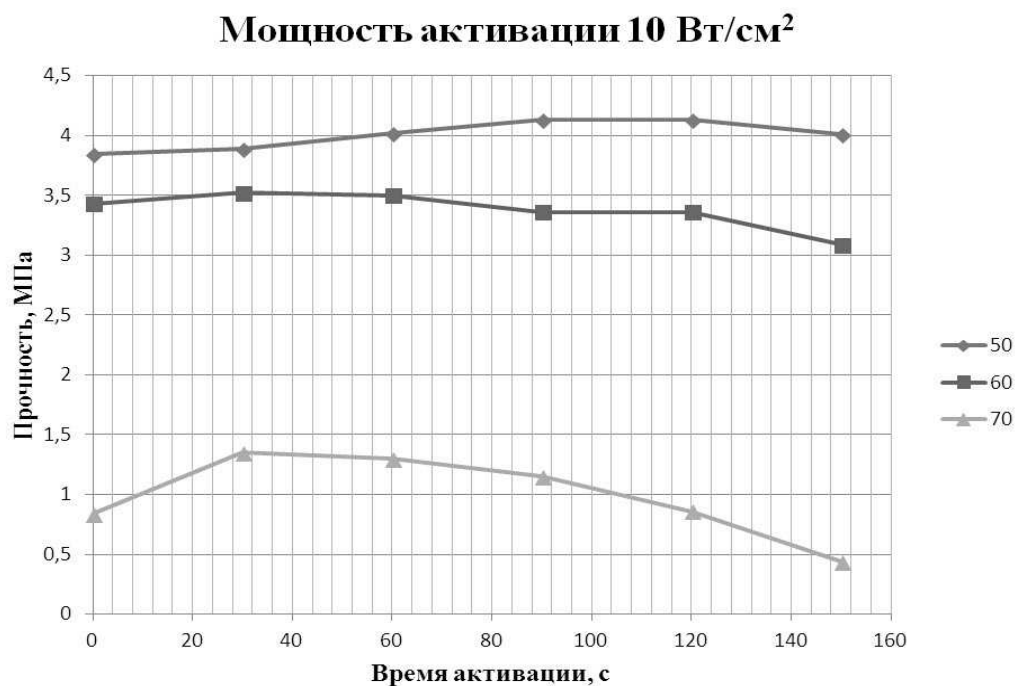


Рис. 3. Прочность гипсо-известняковых образцов в зависимости от продолжительности обработки при 50, 60 и 70 % концентрации мраморовидного известняка (мощность активации  $I_1 = 10 \frac{Вт}{см^2}$ ).

Fig. 3. Durability of gipso-limestone standards depending on duration of treatment at 50, 60 and 70 % concentrations of mramorovidno limestone (power of activating  $I_1 = 10 \frac{Вт}{см^2}$ ).

Таблица 3 Результаты анализа исследования ультразвуковой активации гипсо-известняковых систем при интенсивности ультразвукового потока  $I_1 = 10 \frac{Вт}{см^2}$ .

Table 3. Results of analysis of research of the ultrasonic activating of the gipso-limestone systems at intensity of ultrasonic stream  $I_1 = 10 \frac{Вт}{см^2}$ .

| Концентрация известняка, % | Прочность контрольных образцов, МПа | Максимальная прочность активированных образцов, МПа | Оптимальное время активации (при максимальной прочности), сек | Увеличение прочности образцов после активации, % |
|----------------------------|-------------------------------------|---|---|--|
| 1                          | 2                                   | 3   | 4   | 5  |
| 50                         | 3,9                                 | 4,1   | 90  | 5,1  |
| 60                         | 3,2                                 | 3,5   | 30  | 9,4  |
| 70                         | 0,8                                 | 1,4   | 30  | 75   |

## ВЫВОДЫ

1. Экспериментальные данные показывают значительное влияние технологических параметров ультразвуковой кавитации на активацию водотвердых суспензий.

2. Установлена взаимосвязь между технологическими характеристиками источника ультразвука и водотвердой суспензии, влияющие на физико-механические параметры гипсоуполненных систем. Эти соотношения связывают следующие характеристики: исходную интенсивность источника ультразвука, время кавитации, температуру смеси.

3. Установлено, что наиболее оптимальные режимы кавитационной активации гипсоуполненных систем следующие: интенсивность ультразвука

$$I_1 = 5 \frac{Вт}{см^2}; \text{ время активации } 90 \div 120 \text{ сек. При этом}$$

увеличение прочности образцов находится в пределах от 23 до 87 %.

4. Для установления математических зависимостей влияния технологических параметров на ультразвуковую активацию водцементных суспензий необходимо дополнительное изучение реологических свойств водотвердых суспензий, связанных, в первую очередь, с определением коэффициента вязкости.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Saliev E. Ecological and economic problems of the introduction of power-saving technologies in Ukraine / Saliev E. // ТЕКА. Commission of motorization and power industry in agriculture. – Lublin. – 2008. – Vol. X. – P. 333 – 339.

2. Волженский А.В. 1947. Гипсоизвестковые сухие смеси и гипсоглиняные растворы. «Бюро технической информации МПСМ РСФСР». 1947.

3. Волженский А.В., Ферронская А.В. 1974. Гипсовые вяжущие и изделия (технология, свойства, применение). М. Стройиздат, 328.

4. Кондращенко О.В. 2004. Гипсовые строительные материалы повышенной прочности и водостойкости (физико-химические и энергетические основы) Автореферат диссертации на соискание научной степени доктора технических наук. Украинская государственная академия железнодорожного транспорта. Харьков.

5. Недосеко И. В. 2002. Гипсовые композиции из отходов промышленности и изделия на их основе. Диссертация на соискание научной степени доктора технических наук. Уфа.

6. Ахвердов И. Н., Шалимо М. А. 1969. Ультразвуковое вибрирование в технологии бетона.- М: Стройиздат, 135.

7. Зубрилов С.П. 1975. Физико-химические аспекты ультразвуковой активации вяжущих материалов. Докторская диссертация. Ленинград.

8. Зубрилов С.П., Пилицин С.А. 1968. Метод упрочнения бетонов путем ультразвуковой активации цементной пасты. Госстройиздат, Ленинград.

9. Урханова Л.А. 2008. Повышение эффективности строительных материалов за счет механохимической активации безклинкерных вяжущих композиций. Докторская диссертация. Улан-Удэ.

10. Винник В.Г. 1969. Исследование и разработка гидроакустических методов активации цемента. Автореферат канд.диссертации. М.

11. Кулагин В.А. 2004. Методы и средства технологической обработки многокомпонентных сред с использованием эффектов кавитации. Докторская диссертация. Красноярск.

12. Sukach. M. 2009. Automated control and measuring of parameters of technological processed system/ M. Sukach, I. Litvinenko, D. Bondar//Motrol.Motorization and power industry in agriculture.Tom 11B.Lublin 190-195.

13. Danilecki K. 2010. Simulation assessment of optimization possibilities of cooperation of traction engine and the turbocharger//TECA Kom. Mot. Energ. Roln. – OL PAN, 10, 39-46.

14. Pezarski F. 2011. Innowacyjna technologia produkcji bentonitu odlewniczego z wykorzystaniem wyselekcjonowanych frakcji powstajacych przy wytwarzaniu sorbentow/ F. Pezarski, A. Palma, I. Izdebska-Szanda//Motrol.Motorization and power industry in agriculture.Tom 13.Lublin 269-280.

15. Hobbs J.M. Experience with a 20kc Cavitation Erosion Test // Erosion by Cavitation or Impingement. Atlantic City.ASTM.STR, №408. 1967. P.159-185.

16. Gazanov A. 2009/ Economy of resources at production of build materials/ A. Gazanov, H. Nesterenko, A. Lyul'ko// Motrol.Motorization and power industry in agriculture.Tom 11A.Lublin 134-137.

17. Ивченко В.М. Элементы кавитационной технологии // Гидродинамика больших скоростей. Красноярск: КрПИ, 1982. Вып.3.С.3-19.

18. Кулагин В.А. Суперкавитация в энергетике и гидротехнике: Монография. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2000.107 с.

19. Мищенко В.С. Минерально-сырьевой комплекс Украинской ССР.- К.: Наукова думка, 1987.- 223 с.

20. Панфилов Е.И. Экологическая безопасность недр и природопользования // Строительные материалы. 2004 № 4. С.9.

## INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON DURABILITY OF DIFFERENT TYPES OF ASTRINGENT AT ULTRASONIC TREATMENT WATER-HARD SUSPENSIONS

**Abstract.** Theoretical researches and experimental information are considered about influence of ultrasonic kavitacii on activating of vodotverdoy suspension. Shown, that kavitaciya in the water-hard systems is a difficult mechanical and physical and chemical process, one of which is dispergating of particles of gipseous astringent. Set on the basis of relaxation theory of intercommunication between basic self-reactance descriptions of source of ultrasound and by reologicheskimi properties of composition suspension on the basis of gypsum

**Keywords:** composition suspension on the basis of gypsum, limestones, water-hard systems, u

## ФОРМИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ИЗВЕСТКОВО-ИЗВЕСТНЯКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ КАРБОНИЗАЦИОННОГО ТИПА ТВЕРДЕНИЯ

Николай Любомирский, Александр Бахтин, Арсен Джелал

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

**Аннотация.** Рассмотрен процесс искусственной карбонизации известковых вяжущих, выявлены особенности химической реакции карбонизации гидроксида кальция при повышенных концентрациях углекислого газа и графически представлен механизм карбонизации известкового теста. установлена степень влияния вида известняка на формирование прочностных показателей материала на основе извести, твердеющего по карбонизационному типу в искусственно созданной среде повышенной концентрации углекислого газа.

**Ключевые слова:** строительные материалы, известь, углекислый газ, карбонизационное твердение, гидрокарбонат кальция, карбонат кальция, известняк, прочность на сжатие.

### ВВЕДЕНИЕ

Известно, что известь – это вяжущее вещество, твердеющее по смешанному типу [1]. При твердении гашеной извести коагуляционное твердение перемежается с кристаллизацией  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  вследствие испарения воды затворения. Позже в процессе твердения принимают участие и карбонизация – превращение  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в  $\text{CaCO}_3$ . В результате реакции карбонизации изменяется микро- и макроструктура строительного раствора, улучшаются его механические свойства и долговечность. Насыщение углекислотой в растворах извести происходит, когда  $\text{CO}_2$  в воздухе распространяется через открытые поры раствора, распадается внутри капиллярной поры воды, и реагирует с растворенным гидроксидом кальция. Это приводит к осаждению кристаллов карбоната кальция, выделению воды и тепла. Этот полный процесс выглядит следующим образом:



Образование карбоната кальция происходит в несколько этапов. Сначала происходит растворение гидроксида кальция, которое сопровождается выделением ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и освобождением капиллярных пор от воды. В это же время углекислый газ диффундирует в виде раствора в открытые поры. При этом происходит его адсорбция, растворение и превращение в гидратную форму угольной кислоты ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), под действием которой в системе образуется бикарбонат ионы ( $\text{HCO}_3^-$ ) и карбонат ионы ( $\text{CO}_3^{2-}$ ). В конечном счете, реакция между ионами  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{CO}_3^{2-}$  приводит к осаждению кристаллов карбоната кальция, путем образования ядра и последующего кристаллического роста.

### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

Целью настоящей статьи является установить влияние известнякового наполнителя и его вида на

формирование механических свойств искусственного карбонатного камня, получаемого на основе известкового вяжущего, твердеющего в среде повышенных концентраций углекислого газа. Поставленная цель была реализована решением следующих задач:

- выявлены особенности химической реакции карбонизации гидроксида кальция при повышенных концентрациях углекислого газа и графически представлен механизм карбонизации известкового теста;
- путем исследования изменения прочности на сжатие спрессованных известняков различного происхождения после обработки их углекислым газом установлена степень влияния вида известняка на формирование прочностных показателей материала на основе извести, твердеющего по карбонизационному типу в искусственно созданной среде повышенной концентрации углекислого газа.

### АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Карбонизация гидроксида кальция в естественных атмосферных условиях протекает десятилетия, главным образом, из-за низкого содержания в воздухе углекислого газа (~0,03 %). Интерес к процессу ускоренной карбонизации известкового вяжущего и получения на его основе карбонатного камня возник еще в начале XX века и активно прорабатывался в середине прошлого столетия [2 – 8]. В основном научные исследования были направлены на решение проблемы, как предотвратить активную карбонизацию свободного гидроксида кальция в бетоне, вызывающую карбонизационную усадку, и повысить долговечность строительных конструкций [9 – 12]. В начале XXI века наблюдается интерес к вопросу получения искусственного камня на основе извести карбонизационного твердения [13 – 17]. В первую очередь [18], исследователей и производителей строительных изделий привлекает дешевизна

получения известкового вяжущего и широта сырьевой базы для ее производства, а также экологическая привлекательность изделий на основе известки и возможность утилизации углекислого газа, загрязняющего атмосферный воздух, и вызывающего парниковый эффект. С 2006 года каждые два года проводится Международная конференция по ускоренной карбонизации для окружающей среды и материаловедения (International Conference on Accelerated Carbonation for Environmental and Materials Engineering – ACSEMA). Работы и доклады, в основном, посвящены теоретическим и прикладным исследованиям искусственной карбонизации известки, превращения гидроксида кальция в карбонат кальция, оценке условий применения карбонизации в технологиях улавливания и использования углекислого газа.

Исследования процесса искусственной карбонизации систем, содержащих известку, которые были проведены в Национальной академии природоохранного и курортного строительства [17, 19 – 21], позволили установить химические, физико-химические особенности карбонизации известковых вяжущих веществ, оптимизировать технологические параметры искусственной карбонизации известки и на основании этого разработать ресурсосберегающую технологию производства карбонизированных стеновых изделий на основе известки и вторичного карбонатного сырья. Теоретическими и практическими исследованиями было однозначно установлено, что по мере проникновения углекислого газа внутрь образцов по порам и капиллярам, прежде чем образуется нерастворимая соль карбонат кальция, неизменно образуется углекислая соль – гидрокарбонат кальция. Вопрос перехода гидрокарбоната кальция в карбонат является одним из определяющих при изучении процесса образования вторичного карбоната кальция и получения на его основе прочного искусственного карбонатного камня.

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследования и представления механизма карбонизации известкового теста была использована известная форма представления гетерофазного химического процесса [22].

Установление влияния гидрокарбоната кальция на прочность материала проводилось путем изготовления методом полусухого прессования образцов-цилиндров Ø 30 мм из молотых крымских известняков: мраморовидного ОАО «Карьер «Мраморный» с. Мраморное (Симферопольского р-на, АРК), нуммулитового Бахчисарайского месторождения и желтого известняка-ракушечника Евпаторийского месторождения. Химический состав известняков представлен в табл. 1. Удельная поверхность известняка составляла около 3000 см<sup>2</sup>/г.

При формировании опытных образцов усилие давления прессования и водосодержание смеси подбирали таким образом, чтобы получить образцы, обладающие достаточной прочностью, чтобы с ними работать (не крошились бы при переноске и т.п.). Удельное давление прессования составляло 30 МПа, водосодержание сырьевой смеси варьировали в пределах 5 – 15 % мас. После формирования образцы устанавливались в карбонизационную камеру [23], в которую подавали 100 % углекислый газ. После обработки углекислым газом (карбонизации) образцы подсушивались и испытывались на гидравлическом прессе для определения прочности на сжатие.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Представим процесс искусственной карбонизации графически. На рис. 1 показан структурный элемент известкового теста до введения в систему углекислого газа и начала взаимодействия с ним.

Известковое тесто представлено в виде двухфазной среды, каждая из фаз, как принято в механике насыщенных пористых сред, считается равномерно распределенной по объему. С момента подачи углекислого газа начинается процесс карбонизации. Процесс образования вторичного карбоната кальция в результате искусственной карбонизации известкового теста условно можно разделить на три этапа (рис. 2). На первом этапе (см. рис. 2 а) в результате диссоциации Ca(OH)<sub>2</sub> и углекислой кислоты образуется карбонат кальция, который образуется на поверхности контакта жидкой и твердой фаз, и осажается в виде карбонатного слоя на поверхности зерен известки.

При наличии в системе CO<sub>2</sub> новообразованный CaCO<sub>3</sub> растворяется и переходит в гидрокарбонат кальция (см. рис. 2 б). В присутствии в растворе жидкой фазы ионов CaOH<sup>+</sup> и гидрокарбоната кальция, который диссоциирует на CaHCO<sub>3</sub><sup>+</sup> и HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>; известка переходит в карбонат кальция по уравнению (1), который, в свою очередь, уплотняет карбонизированный слой на поверхности зерен Ca(OH)<sub>2</sub>. Из-за блокирования зерен известки слоем карбоната кальция эта реакция протекает в малых количествах и, как было сказано, с увеличением содержания Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> практически прекращается. Дальнейшее образование CaCO<sub>3</sub> происходит в жидкой фазе из гидрокарбоната кальция при взаимодействии Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Превращение гид-



Таблица 1. Химический состав известняков  
Table 1. Chemical composition of lime stones

| Вид известняка       | SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO  | SO <sub>3</sub> | п.п.п. |
|----------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-----------------|--------|
| Мраморовидный        | 1,9              | 0,68                           | 1,57                           | 48,08 | 2,54 | 0,67            | 43,8   |
| Нуммулитовый         | 9,87             | 0,65                           | 0,92                           | 48,35 | 0,47 | -               | 38,9   |
| Известняк-ракушечник | 7,88             | 1,2                            | 1,83                           | 49,17 | 0,15 | 0,14            | 39,5   |

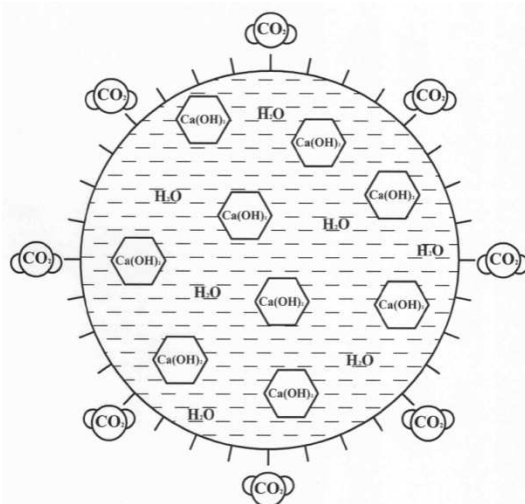


Рис. 1. Структурный элемент известкового теста до взаимодействия с углекислым газом  
Fig. 1. Structural element of lime putty to interaction with carbon dioxide

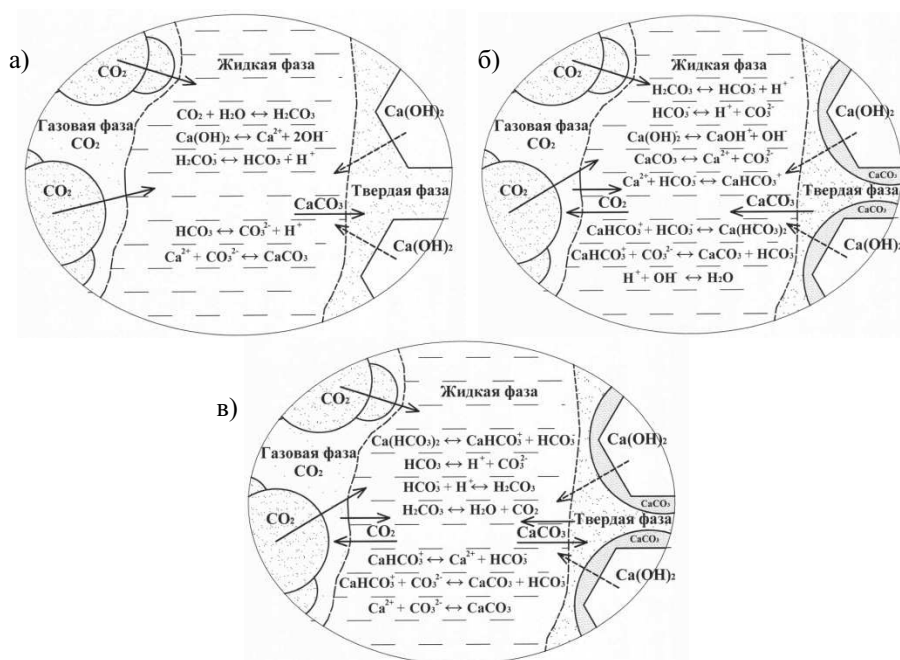


Рис. 2. Механизм образования вторичного карбоната кальция в системе «Ca(OH)<sub>2</sub> – H<sub>2</sub>O – CO<sub>2</sub>»: а) стадия образования карбоната кальция; б) стадия растворения CaCO<sub>3</sub> и образование в системе Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>; в) стадия превращения Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> в CaCO<sub>3</sub>

Fig. 2. The mechanism of the formation of the secondary calcium carbonate in the system of «Ca(OH)<sub>2</sub> – H<sub>2</sub>O – CO<sub>2</sub>»: а) the stage of formation of calcium carbonate; б) the stage of dissolution of CaCO<sub>3</sub> and education in the system of Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>; в) the stage of transformation of Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> in CaCO<sub>3</sub>

рокарбоната кальция в карбонат является типичным представителем гомогенного гетерофазного процесса [24]. Механизм превращения гидрокарбоната в карбонат из водного раствора представлен следующим образом (см. рис. 2 в). Зона нарушения состояния динамического равновесия системы обратимых химических реакций в растворе за счет необратимой массопередачи  $\text{CO}_2$  из жидкой фазы в газовую является зона вблизи от поверхности контакта жидкой и все время обновляемой газовой фазы. Это и есть зона протекания рассматриваемого химического превращения, лимитирующей стадией которого является массопередача реакционного  $\text{CO}_2$  из жидкой фазы в газовую.

Стадия образования карбоната кальция, обусловленная массопередачей  $\text{CaCO}_3$  из жидкой фазы в твердую фазу, оказывает определенное воздействие на скорость процесса в целом, но лимитирующей стадией превращения гидрокарбоната кальция в карбонат она не является [22]. Таким образом, образование карбоната кальция в системе является не причиной превращения гидрокарбоната кальция в карбонат, а его следствием.

Из вышесказанного ясно, что гидрокарбонат кальция образуется в результате воздействия на карбонат кальция углекислого газа. В связи с этим заключением для установления влияния  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  на прочностные свойства изделий на основе извести карбонизационного твердения была проведена серия опытов на спрессованных образцах из различных видов крымских известняков: мраморовидного, нуммулитового известняков и известняка-

ракушечника. Исследуемые известняки, соответственно, на 91,88, 87,25 и 88,67 % мас. состоят из  $\text{CaCO}_3$  (см. табл. 1). Согласно вышеизложенным теоретическим выкладкам, при обработке углекислым газом в жидкой фазе опытных образцов будет образовываться углекислая соль – гидрокарбонат кальция.  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  может существовать только в растворенном состоянии, а при удалении (испарении) жидкости откладывается на поверхности в виде  $\text{CaCO}_3$  [18, 21]. Таким образом, кристаллы  $\text{CaCO}_3$ , новообразованные из  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , должны откладываться на поверхности зерен мраморовидного известняка, увеличивая площадь контакта между зёрнами, и повышать, тем самым, прочность образцов.

В табл. 2 приведены результаты прочности на сжатие опытных известняковых образцов после выдерживание их в среде повышенной концентрации углекислого газа в течение 3 ч в зависимости от водосодержания сырьевой смеси.

Из данных табл. 2 видно, что прочность образцов из спрессованных известняков после выдерживания в среде углекислого газа изменяется в зависимости от вида известняка. У образцов из мраморовидного известняка она растет (на 33 – 56,4 % относительно прочности образцов-сырцов), а на нуммулитовом известняке и известняке-ракушечнике – снижается (на 12,5 – 25,0 %). Изменение прочности образцов зависит от начального содержание формовочных смесей. С увеличением водосодержания формовочной смеси прочность на сжатие всех образцов снижается.

Таблица 2. Прочность на сжатие опытных образцов в зависимости от водосодержания формовочной смеси (время обработки углекислым газом 3 ч)

Table 2. Compression strength of the experimental samples of dry compaction test samples depending on the initial water content in the mixture (the carbonation 3 h)

| Начальное водосодержание смеси, % мас. | Вид известняка       | Прочность на сжатие образцов, МПа |                                  | Прирост (+), снижение (-) прочности после карбонизации, % |
|--|----------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---|
|  |                      | до обработки углекислым газом     | после обработки углекислым газом |   |
| 5,0                                    | Мраморовидный        | 3,44                              | 5,38                             | +56,4   |
|  | Нуммулитовый         | 4,01                              | 3,35                             | -16,5   |
|  | Известняк-ракушечник | 2,64                              | 2,31                             | -12,5   |
| 7,5                                    | Мраморовидный        | 3,37                              | 5,24                             | +55,5   |
|  | Нуммулитовый         | 4,58                              | 3,77                             | -17,5   |
|  | Известняк-ракушечник | 2,83                              | 2,26                             | -20,0   |
| 10,0                                   | Мраморовидный        | 3,25                              | 5,00                             | +53,6   |
|  | Нуммулитовый         | 4,81                              | 3,90                             | -18,9   |
|  | Известняк-ракушечник | 2,64                              | 2,03                             | -23,2   |
| 12,5                                   | Мраморовидный        | 3,15                              | 4,19                             | +33,0   |
|  | Нуммулитовый         | 3,77                              | 2,83                             | -25,0   |
|  | Известняк-ракушечник | 2,50                              | 1,98                             | -20,8   |

У всех групп опытных образцов прочность с увеличением водосодержания сырьевой смеси снижается. Это явление можно объяснить следующим образом. С увеличением водосодержания в системе появляется некоторое количество свободной воды, т.е. воды, не адсорбированной на поверхности зерен известняка, и которая со временем удаляется из системы, просачиваясь по порам между зернами известняка. Гидрокарбонат кальция, образующийся в результате взаимодействия  $\text{CaCO}_3$  известняка и уголекислоты, может существовать только в водном растворе. Таким образом, часть образовавшегося  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  удаляется из образцов вместе со свободной водой и не участвует в склеивании зерен известняка карбонатным цементом, состоящим из новообразованного  $\text{CaCO}_3$ , возникающего при термическом разложении  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ . Снижение прочности на сжатие образцов из нуммулитового известняка и известняка-ракушечника связано с морфологией известняков. Мраморовидный известняк является продуктом метаморфизации известняков, это плотная перекристаллизованная порода с мелко- и тонкозернистой структурой, состоящая в основном из карбоната кальция. Нуммулитовый известняк и известняк-ракушечник представляют собой осадочные, неоднородные горные породы, состоящие из раковин или их обломков различной величины, сцементированные карбонатным цементом. Вопрос влияния  $\text{CO}_2$  на разложение карбоната кальция различных известняков еще предстоит более подробно и точно изучить методами электронной микроскопии и рентгенофазового анализа, но, судя по экспериментальным результатам табл. 2, определенно можно сказать, что уголекислота разрушает материал раковин, из которых состоят нуммулитовые известняки и известняки-ракушечники, или растворяет карбонатный цемент, скрепляющий эти раковины в единый конгломерат. У мраморовидных же известняков растворение  $\text{CaCO}_3$  происходит на поверхности частиц карбоната кальция, не разрушая самой структуры материала, и образующийся

гидрокарбонат кальция служит связующим веществом склеивающий зерна известняка в единый монолит.

Для проверки влияния времени действия уголекислого газа на известняк была проведена серия опытов изменения прочности на сжатие образцов, изготовленных из сырьевой смеси мраморовидного известняка водосодержанием 10 % мас., на протяжении трех часов обработки их  $\text{CO}_2$ . Экспериментальные данные представлены в табл. 3, результаты графической обработки показаны на рис. 3.

Опытные данные, представленные в табл. 3 и рис. 3, показывают, что изменение прочности на сжатие с течением времени носит скачкообразный характер и снижается с увеличением продолжительности обработки образцов уголекислым газом: после карбонизации образцов в течение 0,25 ч прочность повышается на 84,6 %, а после 3,0 ч карбонизации превышение прочности в сравнении с прочностью образцов-сырцов составляет 53,6 %. Такой скачкообразный характер может быть объяснен тем, что в начальный период обработки мраморовидного известняка уголекислым газом в системе «известняк – вода – уголекислый газ» на поверхности частичек известняка образуется большое количество гидрокарбоната кальция, который покрывает всю поверхность зерен известняка и при переходе в карбонат кальция при нагревании склеивает зерна известняка карбонатным гелем. С увеличением времени воздействия уголекислого газа новообразованный карбонат кальция растворяется и вместе с образующейся в результате химических реакций водой частично удаляется из системы. Из полученных данных можно сделать вывод, что процесс образования гидрокарбоната кальция в системе, состоящей из известняка, при обработке ее уголекислым газом быстрый, не растянут во времени и известняковый наполнитель в искусственно карбонизируемых составах является не инертной составляющей, а активным компонентом, участвующим в процессах твердения, структурообразования и формирования физико-механических свойств получаемого материала.

Таблица 3. Прочность на сжатие опытных образцов полусухого прессования из мраморовидного известняка в зависимости от времени обработки углекислым газом  
 Table 3. Compression strength of the experimental samples of half-dry pressing from the marble-like limestone depending on the time of processing carbon dioxide

| № п/п | Время обработки CO <sub>2</sub> , ч | Прочность на сжатие, МПа | Прирост прочности, % |
|-------|-------------------------------------|--------------------------|----------------------|
| 1     | 0                                   | 3,25                     | 0                    |
| 2     | 0,25                                | 5,99                     | 84,1                 |
| 3     | 0,5                                 | 5,66                     | 73,9                 |
| 4     | 1,0                                 | 5,00                     | 53,6                 |
| 5     | 1,5                                 | 5,28                     | 62,3                 |
| 6     | 2,0                                 | 4,95                     | 52,2                 |
| 7     | 2,5                                 | 5,19                     | 59,4                 |
| 8     | 3,0                                 | 5,00                     | 53,6                 |

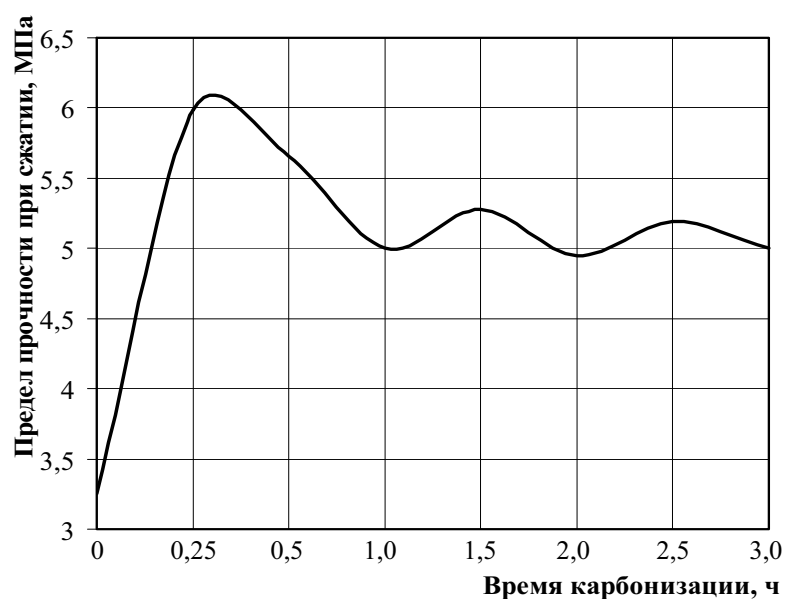


Рис. 4. Зависимость изменения прочности на сжатие опытных образцов из мраморовидного известняка от времени обработки их углекислым газом

Fig. 4. The dependence of the strength on compression of the experimental samples of marble-like limestone from time processing of their carbon dioxide

ВЫВОДЫ

1. Разработан и графически представлен механизм карбонизации известкового теста. Карбонизация известняковых вяжущих проходит в три этапа, во время протекания которых в системе «Ca(OH)<sub>2</sub> – H<sub>2</sub>O – CO<sub>2</sub>» неизменно возникает гидрокарбонат кальция Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, из которого образуется конечный продукт реакции карбонизации CaCO<sub>3</sub>, т.е., образование карбоната кальция в системе является не причиной превращения Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> в CaCO<sub>3</sub>, а его следствием.

2. Гидрокарбонат кальция, возникающий в системе «известь (известняк) – вода – углекислый газ», способствует повышению прочностных характеристик получаемого материала. Установлено, что известняковый наполнитель является компонентом активно участвующим в процессах формирования структуры и свойств материалов, твердеющих в среде CO<sub>2</sub>. Углекислота взаимодействует с CaCO<sub>3</sub> известняка, растворяет верхний слой его зерен и в системе образуется Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, который служит связующим веществом склеивающий зерна известняка с активной обнаженной поверхностью в единый монолит.

3. Выявлено влияние вида известнякового наполнителя в формировании физико-механических свойств композитов на основе извести карбонизационного типа твердения. Известняки органогенного происхождения (нуммулитовые, известняки-ракушечники) могут снижать прочностные свойства материала из-за агрессивного действия углекислоты на раковины, – материала составляющего основу данных видов известняков, – вызывающей коррозию последних или растворяет карбонатный цемент, скрепляющий эти раковины в единый конгломерат. Метаморфизированные известняки (мраморовидные) активно участвуют в структурообразовании карбонизационного твердения и способствуют получению прочного и однородного карбонаткальцевого конгломерата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сычев М.М., 1970. Систематизация вяжущих веществ / Сычев М.М. // Журнал прикладной химии. – № 3. – 528 – 533.
2. Байков А.А., 1950. Труды в области общей и физической химии. Разложение природных углекислых солей при нагревании / Байков А.А. Собрание трудов. – М. – Л: изд. и 1-я тип. Изд-ва Акад. наук СССР в Лгр. – II т. – 565 – 575.
3. Зацепин К.С., 1952. Известковые карбонизированные строительные материалы / Зацепин К.С. // Сборн. материалов Московского науч.-технич. совещания по жил.-гражд. строит., строит. материалам и проектно-изыскат. работам. Т. 2. – М: Московская правда. – 283 – 290.
4. Matsuda O., 1973. Experimental study of the manufacture of building materials by carbonation of slaked lime / Matsuda O., Yamada H. // Sekko to sekkai = Gypsum & Lime. – № 125. – 8 – 17.
5. Aono T., 1931. Studies on the reactions between gas and solid, part II: absorption of CO<sub>2</sub> by CaO and Ca(OH)<sub>2</sub> / Aono T. // Bulletin of the Chemical Society of Japan. – № 6. – 319 – 324.
6. Михайлов Н.Н., 1960. Искусственная карбонизация как способ повышения активности доломитового вяжущего / Михайлов Н.Н., Кузнецов А.М. // Строительные материалы. – № 9. – 28 – 30.
7. Zalmanoff N., 1956. Carbonation of Lime Putties To Produce High Grade Building / N. Zalmanoff // Rock Products. – August. – 182 – 186.
8. Zalmanoff N., 1956. Carbonation of Lime Putties To Produce High Grade Building / N. Zalmanoff // Rock Products. – September. – 84 – 90.
9. Гершберг О.А., 1965. Технология бетонных и железобетонных изделий / Гершберг О.А. – М.: Стройиздат. – 327.
10. Алексеев С.Н., 1969. Кинетика карбонизации бетона / Алексеев С.Н., Розенталь Н.К. // Бетон и железобетон. – № 4. – 22 – 24.
11. Slaska-Grzywna B., 2008. Changes in mechanical properties and microstructure of root of celery after thermal treatment / Slaska-Grzywna B. // ТЕКА. Commission of motorization and power industry in agriculture. – Lublin. – Vol. X. – 355 – 362.
12. Воробьев А.А., 1971. Влияние карбонизации на физико-механические свойства автоклавного газобетона с тонкомолотыми карбонатными добавками / Воробьев А.А. // Строительные материалы. – №2. – 32 – 33.
13. Brouwer J.P., 2011. Mineral carbonation for CO<sub>2</sub> storage. [Электронный ресурс] / Brouwer J.P., Feron P.H.M. // First International Conference on Accelerated Carbonation. – <http://www.iscowa.org/>
14. Cizer O., 2011. Carbonation reaction of lime hydrate and hydraulic binders at 20°C. [Электронный ресурс] / Cizer O., K. Van Balen, D. Van Gemert // Forum italiano calce. – <http://www.iscowa.org/>
15. Cizer O., 2011. Crystal morphology of precipitated calcite crystallized calcite crystals from accelerated carbonation of lime binders. [Электронный ресурс] / Cizer O., K. Van Balen, D. Van Gemert // Forum italiano calce. – <http://www.iscowa.org/>
16. Cultrone G., 2005. Forced and natural carbonation of lime-based mortars with and without additives: Mineralogical and textural / Cultrone G., Sebastián E., Ortega Huertas M. // Cement and Concrete Research Volume 16. – Issue 12. – 278 – 289.
17. Любомирский Н.В., 2009. Формирование структуры известкового теста при твердении в среде углекислого газа / Любомирский Н.В., Локтионова Т.А. // Motrol. Motoryzacja I energetyka

rolnictwa. – Simferopol-Lublin. – Vol. 11A. – 239 – 246.

18. Saliev E., 2008. Ecological and economic problems of the introduction of power-saving technologies in Ukraine / Saliev E. // ТЕКА. Commission of motorization and power industry in agriculture. – Lublin. – Vol. X. – 333 – 339.

19. Любомирский Н.В., 2010. Термодинамическое обоснование искусственной карбонизации извести / Любомирский Н.В. // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: Зовнішрекламсервіс. – вип. № 38. – 426 – 430.

20. Любомирский Н.В., 2010. Особенности карбонизации известковых вяжущих материалов / Любомирский Н.В. // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – Макіївка: ДонНАБА. – Вип. 2010-5(85). – 121 – 126.

21. Lyubomirsky N., 2012. The resource saving technology for obtaining facing artificially carbonated products and economic efficiency of their production / [N. Lyubomirsky, T. Bakhtina, A. Bakhtin, D. Vorobiev, A. Jalyal] // Energy-saving and Ecological Materials, Installations and Technology in Construction. – Biala Podlaska: Wydawnictwo PSW JPII. – 115 – 122.

22. Иванов А.М., 1988. Кинетические аспекты и химические процессы химической технологии / Иванов А.М. – Тула: КПИ. – 100.

23. Любомирский Н.В., 2007. Автоматическая установка и методика изучения процесса карбонизации извести / [Любомирский Н.В., Федоркин С.И., Локтионова Т.А., Носатов В.Г.] // Строительство и техногенная безопасность. – Симферополь: НАПКС. – вып. 19-20. – 74 – 78.

24. Эммануэль Н.М., 1984. Курс химической кинетики / Эммануэль Н.М., Кнорре Д.Г. – М.: Высшая школа. – 463.

## THE ROLE OF LIMESTONE FILLER IN THE FORMATION OF THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF LIMING MATERIALS CARBONATING HARDENING

**Abstract.** Considered the process of carbonation, lime binding, the peculiarities of the chemical reaction carbonization of calcium hydroxide with increased concentrations of carbon dioxide and graphically presented the mechanism carbonization of lime of the test. set the degree of influence of the type of limestone to the formation of the strength characteristics of the material on the basis of lime carbonating hardening in the artificially created environment of the increased concentration of carbon dioxide.

**Keywords:** building materials, lime, carbon dioxide, carbonating hardening, hydrocarbonate calcium, calcium carbonate, limestone, compressive strength.

## ПРИНЦИПЫ РЕКОНСТРУКЦИИ ОБЪЕКТОВ ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА НА ОСНОВЕ МЕТОДОЛОГИИ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ОСНОВАНИЙ

Дмитрий Прусов, Валерий Бадах.

Национальный авиационный университет (Киев, Украина)

Адрес: пр. Космонавта Комарова, 1. Київ. 03680. Украина

e-mail: prusov@nau.edu.ua

**Аннотация.** Рассматривается методология моделирования и определения устойчивости грунтовых оснований во взаимодействии с ограждающими и заглубленными конструкциями в предельном состоянии при реконструкции объектов городского хозяйства в сложных инженерно-геологических условиях с целью прогнозирования возможных последствий.

**Ключевые слова:** реконструкция объектов городского хозяйства, грунтовые основания, конструкции укрепления, напряженно-деформированное состояние.

### ВВЕДЕНИЕ

Реконструкция объектов городского хозяйства связана с максимальным использованием наземного и подземного пространства в пределах районов, на территории которых необходимо строить современные здания и сооружения, объекты транспортной инфра-структуры, и другие инженерные сооружения.

В процессе реконструкции районов в условиях плотной городской застройки возникают определенные трудности, связанные с сохранением неизменности существующего напряженно-деформированного состояния (НДС) оснований под ними, особенно в зонах сложных геологических условий. Разработка методики оценки влияния сложных инженерно-геологических условий на НДС конструкций объектов городской инфра-структуры при учете предельного состояния равновесия полу-пространства выполнено на основе следующих критериев: предельного состояния грунтовых оснований, допустимых упругих прогибов конструкций, находящихся во взаимодействии с грунтовыми массивами, предельного сопротивления грунта сдвигу и допустимых растягивающих напряжений при изгибе для монолитных слоев покрытия. Это обуславливает необходимость рассмотрения комбинированного многослойного пространства при сведении решения задачи в пространственной постановке к задаче в плоской постановке. Для решения поставленной задачи на основе численного метода выполнено моделирование влияния процессов, связанных с новым строительством объектов городского хозяйства при реконструкции существующей инфра-структуры.

С целью определения предельных деформаций всего многослойного расчетного фрагмента полупространства с учетом предельного сопротивления грунта сдвигу и допустимых растягивающих напряжений в слоях учитывается развитие локальных пластических деформаций. На основе численных экспериментов, выполненных с помощью моментной схемы конечных элементов (МССЭ), могут быть подготовлены

соответствующие рекомендации относительно уточнения коэффициентов условий работы, которые дают возможность использовать существующие инженерные аналитические методы расчета [1, 2, 3].

Предельное равновесие грунта в рассматриваемом элементарном объеме (конечном элементе) адекватно такому напряженному состоянию, в котором даже небольшое дополнительное влияние может нарушить это равновесие. Такое напряженное состояние характеризуется еще и тем, что сопротивление сдвигу в элементарной области (конечном элементе) должно быть равным предельной для данного типа грунта. Указанное состояние относится ко второй фазе предельного состояния грунтов при обширном развитии деформаций сдвигов в массиве грунта. Численное решение задачи устойчивости грунтовых массивов в этом случае осуществляется на основе предложенной в [4, 5, 6] методики с некоторыми уточнениями критерия текучести для грунтового полупространства.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Проанализированы инженерно-геологические условия различных территорий и их влияние на проектные решения по реконструкции районов с плотной городской застройкой, когда необходимо применять различные специальные мероприятия по укреплению и защите территорий [10, 12].

На сегодня анализ указанных систем можно проводить лишь средствами численного моделирования, которые требуют использования современной компьютерной базы и соответствующего математического аппарата [11]. Сложность решения соответствующих проблемных задач заключается не только в создании или использовании соответствующего программного комплекса, а в первую очередь в принятии обоснованной физико-математической модели, которая наиболее корректно описывает нелинейные процессы деформирования материала среды, в том числе материала грунта, а также в выборе

расчетных схем и реализации специальных алгоритмов расчета, которые обеспечивают достоверность результатов расчета. Ситуация осложняется еще и тем, что на сегодня отсутствует универсальные методы и модели, которые можно применять к любому материалу и в различной среде.

Анализ нормативных документов и научных трудов отечественных и иностранных ученых, которые опубликованы в смежных отраслях строительства, показывает наличие большого количества методик и научных работ для определения величины деформаций и НДС конструкций. Но применение любой отдельно взятой методики или работы не позволяет учесть сложность строения толщи грунтов при наличии слабых прослоек, или развития в основаниях явлений суффозии или выпора грунта, их влияние на НДС ограждающих конструкций, конструкций укрепления грунтовых массивов, а также оснований, фундаментов и конструкций существующих зданий и сооружений. Для соответствующих расчетов отсутствует нормативная база, практически отсутствуют методики исследования НДС окружающей застройки с дискретным моделированием грунтового основания. Более того, некоторые существующие технологии строительства, например, устройство свай без экскавации грунта является новыми и еще не нашли отображения в нормативных документах. Существующие нормы и эмпирические зависимости при оценке влияния нового строительства на расположенные вблизи здания и сооружения приводят к необоснованному запасу, или наоборот к разрушению окружающей застройки, а обеспечение надежности зданий и сооружений, снижения финансовых и материальных затрат, является актуальной задачей современного градостроительства.

#### ЦЕЛЬ РАБОТЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАНИЯ

Создание достоверной расчетной модели грунтовой основы, которая бы обеспечивала достаточное соответствие между результатами расчета и действительностью, – все еще является одной из важнейших проблем строительства. Современные методы расчета оснований в механике грунтов позволяют оценить лишь их порядок. Использование как расчетного давления предельной величины, которая отвечает концу (излому) линейного участка графика “нагрузка-осадка” приводит, как правило, к принятию не всегда экономически целесообразных решений. За пределами классической (линейной) механики грунтов остается неучтенной большая область исследований пластических деформаций. Возникает необходимость разработки более совершенных методов расчета, которые учитывают действительную схему работы конструкций, фундаментов и оснований, учитывая реальные

нелинейные свойства грунтовых оснований. Актуальной остается задача разработки математической модели расчета сопротивления свай с целью повышения достоверности и надежности проектных решений путем учета геометрической и физической нелинейности работы оснований, явлений дилатансии у них и уточнения критериев предельного состояния грунтов.

Процесс реконструкции районов с плотной застройкой также связан с сохранением неизменности существующего НДС оснований под ними. В этих условиях важную роль играют инженерные защитные сооружения и технологии их возведения, которые бы обеспечили минимальные изменения НДС оснований. Расчеты конструкций указанных защитных сооружений, а именно – защитных экранов, диафрагм, подпорных стенок разной конфигурации, стенок в грунте – сплошных и комбинированных из буронабивных и буроналивных свай глубиной до 40 м и больше, необходимо проводить с учетом нелинейного поведения грунтов, особенно на этапе устройства глубоких котлованов.

Возможность обеспечения надежного и экономичного решения той или иной проблемы дает анализ взаимодействия систем: “существующая застройка – защитные сооружения – котлован под новое строительство”; “основания и фундаменты существующих зданий – защитные ограждающие конструкции – надземные конструкции в целом”, или разные комбинации взаимодействия грунтового полу-пространства под существующими зданиями и защитных сооружений между существующими и новыми проектируемыми зданиями.

Каждая постановка задачи должна включать собственный анализ на достоверность и особый подход, который требует от современного проектировщика не только умения правильно разработать документацию, но и иметь соответствующие значительные навыки и знание в вопросах численного моделирования и механики грунтов.

Проектирование защитных ограждающих конструкций под новое строительство в условиях реконструкции застройки следует проводить с учетом влияния на существующие здания и сооружения и прилегающий грунтовой массив различных этапов строительства:

- устройство защитных ограждающих конструкций;
- разработка котлована с учетом эффекта разгрузки основания;
- последовательности возведения инженерных конструкций.

Получение надежных результатов моделирования системы, в большинстве случаев сводится к использованию нелинейных упруго-пластических моделей, которые базируются на



теории пластического течения. При этом необходимым фактором остается учет конструктивности и неоднородности – технологической последовательности процесса строительства согласно принятой системе.

Обеспечение надежности зданий и сооружений, снижения финансовых и материальных затрат, является актуальным вопросом современного строительства. Эти требования относятся к основаниям и фундаментам как к самой ответственной части инженерных сооружений. Сметные расходы работ по реконструкции (усилению) фундаментов, или исправлению ошибок, допущенных при проектировании, многократно превышают начальную стоимость устройства фундаментов, а порой и всего сооружения. Благодаря этому уточненным расчетам осно-ваний во взаимодействии с конструкциями в современных условиях уделяется значительное внимание. Одним из рациональных видов фундаментов являются сваи, которые обеспечивают высокую несущую способность и минимальную величину осадок фундаментов. Объективными причинами внедрения свайных фундаментов, как правило, является наличие просадочных грунтов, острая необходимость строительства многоуровневых промышленных и гражданских зданий и сооружений с целью рационального использования городских территорий. Невзирая на давнее и широкое применение свайных фундаментов в жилищном, промышленном и гражданском строительстве, особенности их взаимодействия с основами изучены недостаточно и в настоящий момент существует достаточно много проблемных задач, достоверное решение которых не реализовано в полной мере.

В ряде работ разрабатывается методология исследования взаимодействия ограждающих и защитных сооружений с грунтовым полупространством в предельном состоянии с учетом геометрической и физической нелинейности в постановке задачи, при реализации эволюции сложной загрузки с учетом активной и пассивной нагрузки и эффекта разгрузки грунтового полупространства [5, 6]. Методология разработана на основе теории нелинейной механики грунтов, нелинейной теории упругости и пластичности, методов нелинейного программирования и метода конечных элементов [7, 8].

Предложены новые модифицированные модели учета неоднородности и влияния анизотропных свойств многослойного полупространства при отсутствии трения между отдельными слоями [9].

В основу работы положены идеи обобщения зависимостей механики грунтов, которая позволит более обоснованно определять величину напряженно-деформированного состояния конструкций сооружений, которые находятся во взаимодействии со сложными грунтовыми

основаниями.

Основными заданиями работы являются:

- разработка математической модели методики исследования неоднородного грунтового полупространства;
- развитие математической модели устойчивости грунтового полупространства;
- разработка основных уравнений состояния и равновесия сложных систем с учетом геометрической и физической нелинейности в постановке задачи;
- разработка специального алгоритма решения систем нелинейных уравнений;
- проведение численных исследований с целью подтверждения достоверности полученных результатов;
- выявление закономерностей развития деформаций оснований, фундаментов и конструкций зданий и сооружений с учетом неоднородного грунтового основания.

Исследование взаимодействия грунтовых оснований с объектами существующей застройки в процессе реконструкции районов связано с определением НДС и устойчивости грунтового массива, определением деформативности и прочности конструкций укрепления.

Рассматривается методика расчета упругого полупространства с использованием одного из эффективных сеточных методов – метода конечных элементов в соотношениях моментной схемы конечных элементов, в постановке плоской задачи нелинейно деформированного твердого тела с учетом геометрической и физической нелинейности. В постановке задачи при моделировании полупространства предусматривается существенная неоднородность прослоек грунтов и включений в них. Оценка напряженного состояния полупространства предусматривает сопоставление результатов расчета с предельно допустимыми деформациями и перемещениями, то есть возможны локальные области потери устойчивости и развития пластических деформаций.

Методология исследования грунтового полупространства с использованием нелинейной теории упругости обеспечивает достоверные результаты решения для плоской задачи механики грунтов с учетом неоднородности полупространства, наличия слоев с различными физико-механическими характеристиками, разными граничными условиями, произвольными внешними влияниями. Применение отмеченной методологии обеспечивает достаточно достоверное описание напряженно-деформированного состояния грунтового полупространства во взаимодействии с конструкциями объектов городского хозяйства и проведения исследований НДС грунтового полупространства при решении реальных задач расчета ограждающих сооружений в сложных инженерно-геологических условиях.

Полученные в работе зависимости влияния неоднородного грунтового основания на НДС объектов городского хозяйства при проведении их реконструкции имеют пол-ностью определенную практическую значимость, а оценка влияния неоднородных включений пород с различными физико-механическими характеристиками в грунтовом основании, и установление зависимостей по определению деформированного состояния существующей застройки и других объектов городского хозяйства на данных основаниях является актуальной и важной задачей строительной отрасли.

### ВЫВОДЫ

Разработанная методология моделирования устойчивости оснований и оценки влияния сложных условий на НДС существующей застройки при реконструкции объектов городского хозяйства обеспечила уточненный расчет элементов ограждающих конструкций укреплений в условиях реализации эволюционных технологий внешнего воздействия на грунтовое пространство, а также в условиях развития предельных пластических деформаций. Методика численного исследования устойчивости грунтовых оснований во взаимодействии с объектами окружающей застройки при учете предельного состояния равновесия полупространства и влияния поля анизотропии, уточненная на основе развития математической модели устойчивости, создание алгоритмов решения систем нелинейных уравнений с использованием комбинации методов продолжения по параметру возмущения и по развитию пластических деформаций.

В результате численных исследований получены решения задач оптимального проектирования реконструкции объектов городского хозяйства, в условиях плотной городской застройки, с учетом сложных инженерно-геологических условий, физико-механических и гидрологических особенностей построения грунтовых напластований, с использованием различных дискретных моделей и типов грунтов.

Это свидетельствует об универсальности предложенной методологии исследования, и на основании проведенного анализа численных исследований НДС и оценки устойчивости оснований по обобщенным параметрам проектирования построены принципы проведения реконструкции объектов городского хозяйства с целью прогнозирования возможных последствий, защиты территорий и сохранения существующей застройки

### ЛИТЕРАТУРА

1. Цытович Н., Тер-Мартirosян З., 1981. Основы прикладной геомеханики в строительстве / Н.А. Цытович, З.Г. Тер-Мартirosян. – М.: Высш. шк. – 317.
3. Шимановский А., Цыхановский В., 2005. Теория и расчет сильно нелинейных конструкций/ А.В.

Шимановский, В.К. Цыхановский. – К.: Сталь. – 432.

4. Цыхановський В., 2004. Метод скінченних елементів у задачах дослідження неоднорідного півпростору з урахуванням геометричної і фізичної нелінійності/ В.К. Цыхановський, Д.Е. Прусов // Сб., «Опір матеріалів і теорія споруд». – К.: КНУБА. – Вип.75, 87 – 98.
5. Цыхановський В., 2007. Уточнений чисельний розрахунок жорстких аеродромних покриттів на слабких ґрунтових основах з урахуванням неоднорідності матеріалу і особливостей стикових елементів плит/ В.К. Цыхановський, Д.Е. Прусов // Опір матеріалів та теорія споруд: Наук.-техн. зб.– К.: КНУБА. – Вип.78, 87 – 98.
6. Цыхановський В., 2009. Метод скінченних елементів в задачах рівноваги півпростору при взаємодії ґрунтового масиву з огорожуючими конструкціями/ В.К. Цыхановський, Д.Е. Прусов// Промислове будівництво та інженерні споруди. Київ, УкрНДІПСК. – № 4, 38 - 44.
7. Прусов Д., 2009. Аналіз рівнянь рівноваги дискретної розрахункової моделі ґрунтового півпростору / Д.Е. Прусов// Вісник НАУ. – №3, 125 - 130.
8. Prusov D., 2011. The Depending of Embedded Structures State of Airports Objects in Terms of the Boundary Equilibrium State of Soil Semispace/ D.Prusov, A.Beljatynskij// Science – Future of Lithuania. Civil and Transport Engineering. – Vol.3, №2, 118 - 125.
9. Prusov D., 2011. Effect of Deep Excavations with Filler Constructions on the Groundwater Filtration Processes/ D.E. Prusov, V.N. Badakh // MOTROL. – Vol. 13C, 43 - 50.
10. Морозова Е., 2009. Обеспечение сейсмостойкости системы «здание-надстройка» // MOTROL. – Vol. 11A, 257 – 264.
11. Чеботарева Е., 2010. Исследование напряженно-деформированного состояния от-дельно стоящих двухслойных железобетонных фундаментов методами компьютерного моделирования// MOTROL. – Vol. 12D, 154 - 159.
12. Морозова Е., 2012. Сейсмостойкость реконструируемых зданий средней этажности // MOTROL. – Vol. 14, №1, 48 - 54.

### PRINCIPLES FOR MUNICIPAL FACILITIES RECONSTRUCTION BASED STABILITY ASSESSMENT METHODOLOGY

**Summary.** Modeling methodology and determination of soil bases stability has been considered in conjunction with the fencing and buried structures in the transcendental state during the municipal facilities reconstruction in complex engineering-geological conditions to predict the possible consequences.

**Key words:** municipal facilities reconstruction, soil foundations, strengthening structures, the stress-strain state.

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ВОЗМОЖНОСТЬ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДВС

Геннадий Подзноев, Умер Абдулгасис, Татьяна Жарик

Крымский инженерно-педагогический университет  
г.Симферополь, Украина, ул. Севастопольская, 21  
e-mail podznoev\_gp@hotmail.com

**Аннотация.** Проведен термодинамический анализ возможности каталитического риформинга эмульгированного водой дизельного топлива за счет теплоты отработавших газов. Полученные результаты свидетельствуют о потенциальной возможности существенного повышения эффективности дизельного двигателя при значительном улучшении кинетики и качества сгорания топлива и заметного снижения вредных выбросов в отработавших газах. Расчетами подтверждено существенное снижение расхода первичного дизтоплива при сохранении количества полезной работы

**Ключевые слова:** Дизельное топливо, термический риформинг, регенерация теплоты, термодинамика сгорания.

## ВВЕДЕНИЕ

Ключевыми проблемами автотранспортного сектора являются максимизация использования теплоты сгорания моторного топлива [1,2].

Как следствие первого закона термодинамики, вводимая в термодинамическую систему теплота расходуется на совершение полезной работы и на изменение внутренней энергии системы. В практическом выражении это означает, что в любом случае часть теплоты останется в системе неиспользованной. В приложении к реальным циклам тепловых двигателей эта часть теплоты выводится из системы в виде горячих отработанных газов и в виде тепловых потерь при процессе теплопередачи через стенки рабочего цилиндра в систему охлаждения двигателя. В частности, для циклов поршневых двигателей внутреннего сгорания доля теплоты, неиспользуемой для совершения полезной работы, составляет около 60%. В дизелях доля потерь энергии топлива, уносимой из рабочего пространства с отработавшими газами, достигает 40%.

Таким образом, в целом для всего транспортного парка планеты нерациональные потери тепловой энергии в автомобильных двигателях составляют астрономическую величину, кардинально влияющую как на общепланетный тепловой баланс, так и на экологию окружающей среды.

В масштабах современного объема потребления энергоносителей транспортным сектором указанный выше уровень нерациональных потерь не может быть признан приемлемым, тем

более в период нарастающего осознания конечности запасов традиционных углеводородных энергоносителей и возрастающего напряжения экологической ситуации, как в отдельных регионах, так и в масштабах планеты [3,4].

Экспертами подсчитано, что если увеличить КПД всех двигателей внутреннего сгорания (ДВС) хотя бы на один процент, мировая экономика сэкономила бы более триллиона долларов или в нефтяном эквиваленте – более 9 млрд. баррелей.

## АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ

Располагаемая теплота сгорания дизельного топлива расходуется на полезную работу адиабатного расширения (45 %) , тепловые потери через стенки рабочего цилиндра в систему охлаждения (25 %) и выводимую во внешнюю среду теплоту отработавших газов (30 %). В целом на совершение полезной работы тратится меньшая часть энергопотенциала исходного топлива.

Кинетика сгорания топлива также включает в себя определенные потери потенциально располагаемой теплоты, связанные с фазовыми переходами. Поскольку в камеру сгорания подается жидкое топливо с температурой окружающей среды, то перед его сгоранием требуется затратить конкретную энергию на его нагрев до кипения и последующего испарения. При этом основные составляющие дизельного топлива алкановые фракции ряда тридекан-пентадекан-гептадекан [5,6,7] имеют существенные различия в температуре испарения (табл. 1).

Таблица 1. Характеристики дизельного топлива по фракциям

Table 1. Descriptions of fuel-oil on factions

| Название в-ва             | $\mu_m$ , г | m, г | Проц. содер | $t_{кип.}$ , °C | $\rho_{паров.}$ , кг/м <sup>3</sup> | $\mu$ , моль | $\Delta H_{табл.}$ , кДж/моль | $\Delta H_{расч.}$ , кДж/моль | $\Delta H \times \mu$ , кДж |
|---------------------------|-------------|------|-------------|-----------------|-------------------------------------|--------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| тридекан $C_{13}H_{28}$   | 184         | 0,1  | 50          | 235,4           | 8,21                                | 0,000543     | -311,728                      | -8189,532                     | 4,4469                      |
| пентадекан $C_{15}H_{32}$ | 212         | 0,06 | 30          | 270,61          | 9,46                                | 0,000283     | -352,989                      | -9418,911                     | 2,665                       |
| гептадекан $C_{17}H_{36}$ | 240         | 0,04 | 20          | 303             | 10,7                                | 0,000166     | -394,187                      | -10648,433                    | 1,7676                      |
| $\Sigma$                  |             | 2    |             |                 |                                     | 0,000992     |                               |                               | 8,9016                      |

Вследствие этого наиболее высококипящие компоненты (гептадекан) могут не успеть сгореть до конца, снижая тем самым общий тепловой баланс.

Сравнительный термодинамический расчет идеального цикла Дизеля с поправками на кинетику сгорания условного дизельного топлива из балансового соотношения его основных алкановых фракций показал, что на их нагрев до температуры кипения и последующего испарения необходимо заимствование теплоты порядка 10-12% из располагаемой. Соответственно адекватно снижается температура в камере сгорания и полезная работа цикла на 10-12%. Такие же потери будут и в случае использования водотопливных эмульсий (ВТЭ), поскольку вода обладает повышенной теплоемкостью.

Этих потерь можно избежать путем ввода в процесс предварительно подогретого топлива, например прогоняя топливо через теплообменник, обдуваемый отработавшими газами.

Частично теплота отработавших газов используется в дизельных двигателях с турбонаддувом, когда выходящие из цилиндра под избыточным давлением газы вращают крыльчатку турбины и передают энергию соосно совмещенной с ней крыльчатке воздушного компрессора. При этом часть кинетической энергии газов трансформируется в механическую и далее возвращается в виде дополнительного давления в рабочий цикл на стадии адиабатного сжатия и горения топлива. На это используется около 25% энергии выхлопных газов [3].

Турбонаддув позволяет не только повысить удельную мощность на 15-20% и крутящий момент, но и добиться улучшения экономичности двигателя вследствие более высокого термодинамического КПД, лучшего сгорания топлива и отношения массы к мощности, более низкой токсичности отработанных газов. Прогресс турботехники способствовал тому, что в настоящее время доля легковых автомобилей с турбонаддувом составляет примерно половину общего числа автомобилей в возрасте до 5 лет и продолжает увеличиваться. Из них порядка 20% — бензиновые автомобили, остальные — дизельные.

В то же время система турбонаддува имеет ряд серьезных недостатков, в значительной степени нивелирующих отмеченные выше преимущества.

1. Она, безусловно сложна, имеет низкий ресурс, жестко привязана к режиму работы двигателя, более капризна и требовательна к качеству обслуживания.

2. Серьезным минусом является повышенная чувствительность турбины к качеству масла, подаваемого в подшипники под давлением из общей системы смазки при скоростях вращения ее ротора до 150-200 тысяч об/мин и температурах входящих газов 500-600°C. При резкой остановке двигателя давление в системе смазки резко падает, а массивная раскаленная турбина продолжает

вращаться. В этих условиях резко меняются смазывающие свойства масла (его твердение) и, как следствие, заклинивание ротора. Во избежание этого двигатель должен некоторое время работать на холостом ходу перед и после остановки автомобиля, что приводит к дополнительному расходу топлива.

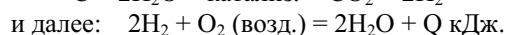
3. Повышенная инерционность турбокомпрессора при наборе оборотов (запаздывание) и в момент резкого сброса оборотов двигателя затрудняет систему регулирования режимом прохождения наддувочного воздуха и усложняет работу подшипников ротора турбины при экстремально высоких скоростях вращения и повышенной температуре газовой фазы.

Более полно отходящая теплота используется в стационарных дизельгенераторах, газо- и паротурбинных энергоустановках с частичным возвратом в рабочий цикл или уходит на внешнее теплоснабжение.

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ.

Более эффективным вариантом является использование принципа регенеративного цикла Карно, при котором тепловая энергия отработавших газов опосредствованно возвращается в изобарный процесс сгорания топлива через термохимический риформинг исходного топлива в смеси с водой.

К настоящему времени проведено значительное количество работ, посвященных использованию воды и ВТЭ в процессе сгорания углеводородных топлив в теплосиловых устройствах [8,9], которые показали, что эмульгированные водой топлива сгорают быстрее, чем безводные. Вода улучшает процессы горения по причине дополнительного дробления капель топлива, увеличения поверхности горения частиц и хорошего перемешивания горючего с воздухом. Сокращение времени сгорания капель благоприятно сказывается на догорании сажистых остатков, так как улучшает полноту сгорания топлива и уменьшает отложение сажи (нагара) на рабочих поверхностях. При наличии в составе металла стенок рабочего цилиндра железа и никеля катализируется реакция взаимодействия углерода с водой по схеме:

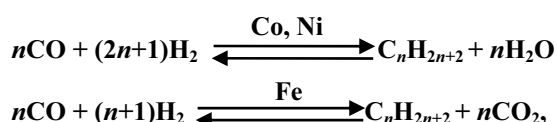


Присутствие паров воды значительно снижает температуру газовой фазы в камере сгорания при одновременном возрастании полезного давления, а также препятствует образованию окислов азота. Процессы смесеобразования, воспламенения и горения для обводненного эмульгированного топлива протекают более активно, чем для топлива безводного, и потому в конечном итоге обеспечивают хорошие показатели сгорания как по

времени, так и по полноте [10,11]

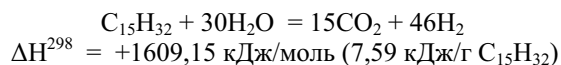
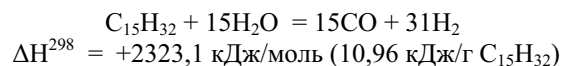
В рассмотренных работах предусматривается внешнее эмульгирование топлива водой. В этом случае основной проблемой становится устойчивость ВТЭ к расслоению при длительном хранении и продолжительных стоянках автомобилей.

Концептуально иной системой использования природного и синтетического углеводородного топлива может стать его каталитический риформинг, по сути своей обратный процессу получения углеводородов из синтез-газа (своего рода анти-Тропш) по схеме:



Из приведенной базовой схемы получения синтетических топлив из синтез-газа следует термодинамическая возможность обратного процесса трансформации углеводородной фазы в смеси с водой или углекислотой в синтез-газ, что в определенном приближении и происходит при сгорании в рабочем цилиндре двигателя ВТЭ при температурах и давлениях конца адиабатного сжатия. Причем этот процесс происходит активно и без помощи катализаторов в условиях лишь термической активации. Из сказанного вытекает вывод о возможности предварительного термического риформинга дизтоплива в смеси с водой в синтез-газ перед его подачей в камеру сгорания двигателя. В результате подобного риформинга ВТЭ водород из воды выделяется в самостоятельную фазу, превращаясь, таким образом, из негорючей водной фазы в высококалорийное (120 МДж/кг) топливо по схеме на примере основной фракции дизельного топлива

– пентадекана (C<sub>15</sub>H<sub>32</sub>):



Исходя из приведенного расчета стандартных энтальпий реакций они имеют явно выраженный эндотермический характер и для их осуществления необходимо в реакционную систему риформинга вводить внешнее тепло. При сгорании ВТЭ необходимая теплота на этот процесс заимствуется при сгорании углеводородной фракции, что отражается снижением термической составляющей в рабочем цилиндре. С другой стороны подобным источником теплоты могут служить отработавшие газы, имеющие достаточно высокую температуру (400-500<sup>0</sup>С) и соответствующее теплосодержание, превышающее потребности рассматриваемых реакций [12,13,14].

В основу сравнительных термодинамических расчетов были положены характеристики дизельного топлива по условно принятым базовым фракциям дизельного топлива - тридекан, пентадекан и гептадекан с температурой кипения соответственно (табл. 1).

В качестве исходных данных для термодинамического анализа принята единичная квота (заряда) дизельного топлива (пентадекана) в 0,2 г на один рабочий цикл идеализированного цикла Дизеля с объемом рабочего цилиндра 3,0 дм<sup>3</sup>. При этом расчет сделан для варианта неполного риформинга с образованием оксида углерода и водорода (табл. 2) и полного риформинга до диоксида углерода (табл. 3)

Таблица 2. Общая схема материального стехиометрического баланса неполного риформинга дизтоплива  
Table 2. General chart of stochiometrical balance of incomplete riforming of fuel-oil

|  | C <sub>15</sub> H <sub>32</sub> | 15H <sub>2</sub> O <sub>ж</sub> | сумма     | 15CO    | 31H <sub>2</sub> | Сумма   |
|--|---------------------------------|---------------------------------|-----------|---------|------------------|---------|
| Мольная масса, г                           | 212                             | 270                             | 482       | 420     | 62               | 482     |
| Масса, г                                   | 0,2                             | 0,2587                          | 0,4587    | 0,3962  | 0,0595           | 0,4557  |
| Моли, μ                                    | 0,0009434                       | 0,0144                          | 0,0153156 | 0,01415 | 0,0296           | 0,04375 |
| ΔH   | -352,989                        | -4287,3                         | -4640,589 | -1657,5 | 0                | -1657,5 |
| (ΔH <sub>кон</sub> - ΔH <sub>исх.</sub> )μ | + 2814,0 Дж.                    |                                 |           |         |                  |         |

Таблица 3. Стехиометрический расчет материального баланса сгорания продуктов полного риформинга  
 Table 3. Stechiometrical calculation of balance of combustion products of complete reforming

|  | $C_{15}H_{32}$ | $30H_2O_{ж}$ | сумма     | $15CO_2$ | $46H_2$ | Сумма   |
|--|----------------|--------------|-----------|----------|---------|---------|
| Мольная масса, г                       | 212            | 540          | 752       | 660      | 92      | 752     |
| Масса, г                               | 0,2            | 0,5094       | 0,7094    | 0,6226   | 0,0868  | 0,7094  |
| Моли                                   | 0,0009434      | 0,0283       | 0,0292    | 0,01415  | 0,0434  | 0,05755 |
| $\Delta H$                             | -352,989       | -8574,6      | -8927,589 | -5902,5  | 0       | -5902,5 |
| $(\Delta H_{кон} - \Delta H_{исх})\mu$ | +2853,87 Дж    |              |           |          |         |         |

 Таблица 4. Стехиометрический расчет баланса сгорания продуктов неполного риформинга.  
 Table 4. General chart of stechiometrical balance of incomplete riforming

|  | $15CO$      | $31H_2$ | $23O_2$  | $N_2$  | сумма   | $15CO_2$ | $31H_2O_{г}$ | $N_2$  | Сумма    |
|--|-------------|---------|----------|--------|---------|----------|--------------|--------|----------|
| Мольная масса, г                       | 420         | 62      | 736      |        | 1218    | 660      | 558          |        | 660      |
| Масса, г                               | 0,3962      | 0,0585  | 0,6944   | 2,2579 | 3,4070  | 0,6226   | 0,5265       | 2,2589 | 2,2579   |
| Моли                                   | 0,01415     | 0,02925 | 0,021705 | 0,8715 | 0,9356  | 0,01415  | 0,02925      | 0,8715 | 0,9149   |
| $\Delta H$ кДж                         | -1657,5     | 0       | 0        | 0      | -1657,5 | -5902,65 | -7497,04     | 0      | 13399,54 |
| $(\Delta H_{кон} - \Delta H_{исх})\mu$ | -11076,8 Дж |         |          |        |         |          |              |        |          |

 Таблица 5. Стехиометрический расчет баланса сгорания продуктов полного риформинга с катализатором.  
 Table 5. Stechiometrical calculation of balance of combustion of products of complete riforminga with a catalyst.

|  | $46H_2$      | $23O_2$ | $N_2$   | сумма    | $46H_2O_{г}$ | $N_2$   | Сумма     |
|--|--------------|---------|---------|----------|--------------|---------|-----------|
| Мольная масса, г                       | 92           | 736     |         | 828      | 828          |         | 828       |
| Масса, г                               | 0,0868       | 0,6944  | 2,2866  | 3,0678   | 0,7812       | 2,2866  | 3,0678    |
| Моли                                   | 0,0434       | 0,0217  | 0,08166 | 0,114676 | 0,0434       | 0,08166 | 0,12506   |
| $\Delta H$ кДж                         | 0            | 0       | 0       | 0        | -11124,64    | 0       | -11124,64 |
| $(\Delta H_{кон} - \Delta H_{исх})\mu$ | -10495,86 Дж |         |         |          |              |         |           |

Из расчетов следует, что при неполном риформинге дизтоплива требуется ввод в систему 2814,0 Дж внешней теплоты на 0,2 г  $C_{15}H_{32}$ , а при полном - 2853,87 Дж. Тепловой же эффект стехиометрического сгорания продуктов неполного риформинга 0,2 г  $C_{15}H_{32}$  -11076,8 Дж (табл. 4), из которых 3323,0 Дж (30 %) уходит с отработавшими газами.

При сгорании продуктов полного риформинга тепловой эффект составит соответственно +10495,86 Дж и с отработавшими газами уйдет 3148,8 Дж с температурой около, что вполне перекрывает потребности в теплоте на риформинг. Более эффективному и полному риформингу дизтоплива будет способствовать его

проведение в присутствии катализатора (табл. 5).

Таким образом, термодинамический анализ показывает возможность использования и достаточность теплоты отработавших газов для риформинга ВТЭ с получением более эффективного варианта энергоносителя с более высокой до 20% теплотой сгорания в сравнении с традиционным дизелем. Кроме этого в камеру сгорания топливо подается в виде достаточно прогретой газовой фазы ( $CO + H_2$ ), что значительно улучшает кинетику сгорания, без остаточного недогара углеводородной фракции при отсутствии условий для образования оксидов азота.

Также улучшаются и параметрические характеристики дизельного цикла (табл.6)

Таблица 6. Параметрические характеристики идеального цикла Дизеля  
 Table 6. Self-reactance descriptions of ideal cycle of Diesel

| Параметры                  | Идеальный цикл Дизеля |                                       |                                 |
|----------------------------|-----------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
|                            | Теоретический         | С учетом потерь на нагрев и испарение | Риформинг $C_{15}H_{32} + H_2O$ |
| Масса $C_{15}H_{32}$ , г   | 0,2                   | 0,2                                   | 0,125                           |
| $v_1$ , дм <sup>3</sup>    | 3                     | 3                                     | 3                               |
| $v_2$ , дм <sup>3</sup>    | 0,15                  | 0,15                                  | 0,15                            |
| $p_1$ , 10 <sup>5</sup> Па | 1,0                   | 1,0                                   | 1,0                             |
| $p_2$ , 10 <sup>5</sup> Па | 60,5                  | 60,5                                  | 60,5                            |
| $p_3$ , 10 <sup>5</sup> Па | 60,5                  | 60,5                                  | 60,5                            |
| $p_4$ , 10 <sup>5</sup> Па | 4,9                   | 4,4                                   | 4,3                             |
| $t_1$ , К                  | 298,0                 | 298,0                                 | 298,0                           |
| $t_2$ , К                  | 900,9                 | 900,9                                 | 900,9                           |
| $t_3$ , К                  | 2692,2                | 2505,8                                | 2445,1                          |
| $t_4$ , К                  | 1467,4                | 1327,1                                | 1284,9                          |
| $Q_1$                      | 8880,8                | 7844,1                                | 7896,8                          |
| $Q_2$                      | 3976,8                | 3459,3                                | 3470,9                          |
| $\eta$                     | 0,552                 | 0,559                                 | 0,560                           |
| A, Дж                      | 4902,2                | 4384,9                                | 4422,2                          |

среду.

### ВЫВОДЫ

Проведенные термодинамические расчеты показывают принципиальную возможность проведения на борту автомобиля предварительного каталитического риформинга ВТЭ с использованием теплоты отработавших газов. При этом установлено:

1. При сгорании холодного дизельного топлива 10-12 % располагаемой теплоты сгорания расходуется на нагрев и испарение топлива, что снижает количество энергии на адиабатное расширение и совершение работы.

2. Количество теплоты отработавших газов достаточно для каталитического риформинга ВТЭ. При этом образуется газовая фаза из оксидов углерода и молекулярного водорода.

3. Потенциальная энергоемкость образованной фазы превышает таковую исходного дизтоплива на 20 % за счет высвобождения водорода воды в свободную фазу.

4. Расчет параметрических характеристик идеализированного цикла Дизеля в сравнительных вариантах традиционного цикла и риформинга ВТЭ показывает существенное снижение на 37,3 % расхода исходного дизтоплива при адекватности получаемой работы и снижении на 60<sup>0</sup> термической напряженности в камере сгорания.

5. Получаемая в результате каталитического риформинга газовая смесь характеризуется высокой кинетикой сгорания без образования недогара и окислов азота.

6. За счет использования теплоты отработавших газов существенно повышается до 0,7-0,75 коэффициент использования располагаемой теплоты исходного топлива и соответственно снижаются тепловые выбросы в окружающую

### ЛИТЕРАТУРА

1. Подзноев Г.П., 2009. Экологические и энергетические проблемы углеводородных ресурсов. Сб. «Человек – природа – общество». Симферополь:КИПУ. - вып. 2, 61-64.
2. Прогноз развития энергетики до 2040 года. [www.exxonmobil.ru/Russia/PA/energy\\_o.aspx](http://www.exxonmobil.ru/Russia/PA/energy_o.aspx)
3. Подзноев Г.П., 2009. Проблемы и перспективы альтернативного энергообеспечения автотранспорта/ Г.П. Подзноев, У.А. Абдулгалис // MOTROL. - №11А, 272-277
4. Abdulgazis U, Podznoev G. 2009. Possibilities increasing the efficiency and ecological safety of Diesel. The 8<sup>th</sup> Int. Conf. "Fuel economy, safety and reliability of motor vehicles. ESFA-2009 Bucharest, Romania, vol. 1, 73-81.
5. Характеристика дизельного топлива. [Электронный ресурс]. Режим доступа [www.elf-d.ru/dt](http://www.elf-d.ru/dt)
6. Свойства дизельного топлива [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.autodiesel.ru/.../svoystva\\_dizel\\_znogo\\_topliva.html](http://www.autodiesel.ru/.../svoystva_dizel_znogo_topliva.html)
7. Температурные характеристики дизельного топлива. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.ngpedia.ru/id101863p1.html](http://www.ngpedia.ru/id101863p1.html)
8. Эксплуатационные испытания ВТЭ в дизельных судовых двигателях. [Электронный ресурс]. Режим доступа [neftegaz.ru/science/view/801](http://neftegaz.ru/science/view/801)
9. Приготовление водно-топливных эмульсий и суспензий - ТДА Технологии. [Электронный ресурс]. Режим доступа [www.tda-nsk.ru/?pg=goods&ID=13](http://www.tda-nsk.ru/?pg=goods&ID=13)
10. Лебедев О.Н., Сомов В.А., Сисин В.Д., 1988. Водотопливные эмульсии в судовых дизелях. – Л.: Судостроение. – 108.

11. Агаев Ф.М., 1961. Применение эмульсий в двигателях с воспламенением от сжатия // Изв. АН Азербайджанской ССР. Сер. физ.-мат. и техн. наук. – № 6, 57–66.

12. Крылов О.В., 2004. Гетерогенный катализ. – М.: Академкнига, 518, 600-603.

13. Новиков О.Н. / Топливная энергетика. Бортовой конвертор. [Электронный ресурс]. Режим доступа [www.ecolog-alfa-nafta.angr.ru/page44.html](http://www.ecolog-alfa-nafta.angr.ru/page44.html) :

14. Подзноев Г.П., 2012. Проблемы и перспективы альтернативного энергообеспечения автотранспорта / Г.П. Подзноев, У.А. Абдулгасис. - MOTROL. – Vol. 14- №6, 111-118.

#### THERMODYNAMICS POSSIBILITY OF INCREASE OF EFFICIENCY OF COMBUSTION ENGINES

**Abstract.** A thermodynamic analysis of the possibility of catalytic reforming of water emulsified diesel fuel by the heat of the exhaust gases. The results indicate the potential for a significant increase in efficiency of a diesel engine with a substantial improvement in the quality of the kinetics and combustion and a significant reduction of pollutant emissions in the exhaust gases. Calculations confirmed a significant reduction in consumption of primary diesel fuel, while maintaining the amount of useful work

**Keywords:** Diesel, thermal reforming, regeneration heat, thermodynamics of combustion.



## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАПУСКА ГИДРОПРИВОДА С ЧЕТЫРЬМЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО СОЕДИНЕННЫМИ ГИДРОМОТОРАМИ.

Николай Иванов, Андрей Гунько

Винницкий национальный аграрный университет  
Адрес: 21008, Украина, г. Винница, ул. Солнечна, 3  
e-mail: mosgv@ukr.net

**Аннотация.** Рассматривается математическая модель гидравлической системы доочистителя ботвы сахарной свеклы с четырьмя последовательно соединенными гидромоторами. Предложена методика расчета данной математической модели. Во время исследования были рассмотрены вопросы запуска гидромоторов и качества работы данной системы.

**Ключевые слова:** гидравлическая система, доочиститель ботвы, последовательное соединение гидромоторов.

### ВВЕДЕНИЕ

Для Украины производство сахара является одним из наиболее значимых экономических и социальных факторов. По состоянию на 2011 год посевные площади под сахарную свеклу увеличились на 6% и эта тенденция сохраняется и по сей день [1]. Но эффективность производства сахара отечественным производителем является невысокой. Это связано с несовершенными технологиями выращивания, уборки [6,7] и переработки сахарной свеклы.

В целом, спрос на сельскохозяйственную технику значительно возрос на протяжении последних месяцев. Как утверждают эксперты аграрных рынков, быстрый рост спроса вызван, прежде всего, резким повышением цен на продукты питания, которое значительно улучшило финансовую ситуацию сельскохозяйственных производителей. Это в свою очередь привело к увеличению инвестиций в высокоэффективную сельскохозяйственную технику, поэтому вопрос разработки эффективной и высокопроизводительной сельскохозяйственной техники является актуальным для отечественных производителей, которые работают в данном сегменте рынка.

Для Винницкой области производство сахара – одна из самых важных статей прибыли, поэтому повышение качества возделывания, хранения и переработки сахарной свеклы с каждым годом приобретает все большую актуальность в связи моральным старением существующего оборудования и возникновением новых технологий возделывания и переработки данной культуры. Парк действующей техники для уборки данной культуры довольно изношен и нуждается в обновлении и усовершенствовании. Закупка новой техники заграничного производства частично может решить данную проблему, но благодаря значительной стоимости и отсутствия свободных средств у отечественных сельскохозяйственных производителей является нереальной, поэтому есть необходимость в разработке ряда мер по усовершенствованию и переоборудованию существующей техники, которая позволит улучшить

эффективность и качество работы данной техники при минимальных расходах средств. Следовательно, вопрос разработки и конструирования гидравлических систем данного типа является актуальным.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Комплексы свеклоуборочных машин, которые производятся в Украине, могут работать по двухфазной или трехфазной технологиям уборки сахарной свеклы. Технологические операции распределяются таким образом: сбор ботвы машинами, которые оборудованы ботворежущими аппаратами; доочистка головок корнеплодов от остатков ботвы на головке; выкапывание корнеплодов из грунта, их транспортировка и очищение от грунтовых примесей, загрузка в транспортные средства. При поточно-перевалочном образе сбора свеклы загрузки корнеплодов из кагатов осуществляется свеклопогрузчиками-очистителями типа СПС-4,2А.

Однако опыт использования отечественных свеклоуборочных комплексов, показывает, что такие комплексы являются чрезвычайно энергоемкими и очень металлоемкими, приводят к значительному уплотнению поверхностного пласта грунта. Не всегда выполняются агротехнические условия сбора. К недостаткам также нужно отнести то, что в отечественной технологии операция сбора ботвы есть фактически двухфазной, поскольку выполняется за два отдельных прохода двух машин.

К преимуществам ботвоуборочных машин, которые работают по двухфазной технологии, можно отнести высокие показатели качества сбора ботвы, их конструктивную простоту, невысокую металлоемкость и др. Обусловлено это тем, что первая стадия не требует точного копирования головок корнеплодов, однако в дальнейшем, после первой стадии срезания ботвы, значительно улучшаются условия для более точного копирования головок корнеплодов и их дальнейшего доочистки, что особенно важно при очень развитой ботве.

Рабочие органы машин для удаления ботвы с корнеплодов сахарной свеклы делятся на два вида – срезающие лезвием и отбивающие, которые счесывают ботву и ее черенки.

При срезании ботвы с головки корнеплода происходит обычный процесс работы лезвия, но конструктивные и кинематические параметры этого процесса могут быть самыми разными.

Удаление ботвы с головок корнеплодов методом отбивания является результатом механического действия на корнеплод рабочих органов. Удаление ботвы с головок сахарной свеклы методом удара нашло широкое применение прежде всего в конструкциях доочистителей головок корнеплодов, которые осуществляют окончательную очистку головок корнеплодов от примесей. Рабочие органы доочистителей работающих по методу отбивания, как правило приводятся в движение с помощью механического привода.

Сегодня на Украине и в странах СНГ большое распространение получили доочистители с горизонтальной осью вращения на базе машины БМ-6. Доочистители этой машины обеспечивают высокий уровень очистки корнеплодов при линейной скорости ротора 19,5 м/с вероятность нормально очищенных головок превышает 62%. При увеличении частоты вращения ротора количество выбитых корнеплодов резко увеличивается. К недостаткам данного доочистителя можно отнести интенсивное сметание верхней части грунта, что в целом негативно сказывается на экологических показателях машины.

Известен ряд конструкций доочистителей с вертикальной осью вращения, которые обеспечивают более высокий уровень очистки корнеплодов, но использование механического привода ограничивает конструктивно – компоновочные решения приводов рабочих органов доочистителей ботвы машин ботвоуборочных машин.

В связи с этим для привода рабочих органов доочистителей ботвы с вертикальной осью вращения предлагается использовать гидравлический привод, использование которого создает благоприятные условия для проектирования приводов рабочих органов доочистителей ботвы сахарного буряка и позволяет реализовать дополнительные колебания рабочих органов в горизонтальной плоскости, что позволяет компенсировать отклонение головок корнеплодов от условной средней линии ряда.

Исследованием динамических процессов в гидравлических системах, разработкой математических моделей и методики проектирования подобных приводов занимались такие ученые как Хохлов В.А., Попов Д.М., Немировский И.А., Середа Л.П.. [3,5,11]. Приведенные в данных работах результаты и методики расчетов позволяют создать математическую модель работы данного привода с целью исследования устойчивости и

качества работы данной системы и разработке рекомендаций по проектированию данных приводов на основании проведенных исследований.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Гидравлическая схема привода доочистителей ботвы сахарного буряка показана на рисунке 1. Гидравлическая система привода доочистителя состоит из насоса Н1, предохранительного клапана КЛ, четырех гидромоторов ГМ1, ..., ГМ4, первые три из которых приводят в движение рабочие органы машин, а четвертый выполняет передачу крутящего момента на кривошип кривошипно-шатунного механизма привода рамки.

При составлении математической модели с учетом результатов предыдущих исследований были приняты такие допущения [3,4,7]:

- плотность, вязкость и коэффициент расхода рабочей жидкости не зависят от температуры благодаря работе гидравлической системы в установившемся температурном режиме;

- не учитываются потери давления во внутренних каналах гидравлической системы и на внешних клапанах, как такие, что обычно имеют незначительную величину;

- коэффициент податливости жидкости не зависит от давления и содержимого газовой составляющей, так как в устойчивом режиме работы системы его величина меняется незначительно;

- давление подпора в сливной линии незначительное и практически неизменное;

- коэффициент утечек и перетечек жидкости у составных гидроагрегатов постоянный и не зависит от размеров и формы щелей;

- расстояние между элементами гидросистемы незначительное, что позволяет рассматривать ее как систему с сосредоточенными параметрами и не рассматривать влияние волновых процессов;

- пульсация подачи насоса с учетом ее значительной частоты не вызывает возбуждения колебаний давки в гидросистеме;

- течение жидкости в зазорах в соединениях деталей гидроагрегатов и гидроаппаратуры имеет ламинарный характер;

В математическую модель усовершенствованного привода доочистителя ботвы ботвоуборочной машины входят следующие уравнения:

1. Расходы жидкости в магистралях, которые соединяют насосную станцию и гидромоторы друг с другом, согласно принятым предположениям могут быть описанными моделью с сосредоточенными параметрами, которая в данном случае представляет собой уравнение неразрывности потоков.

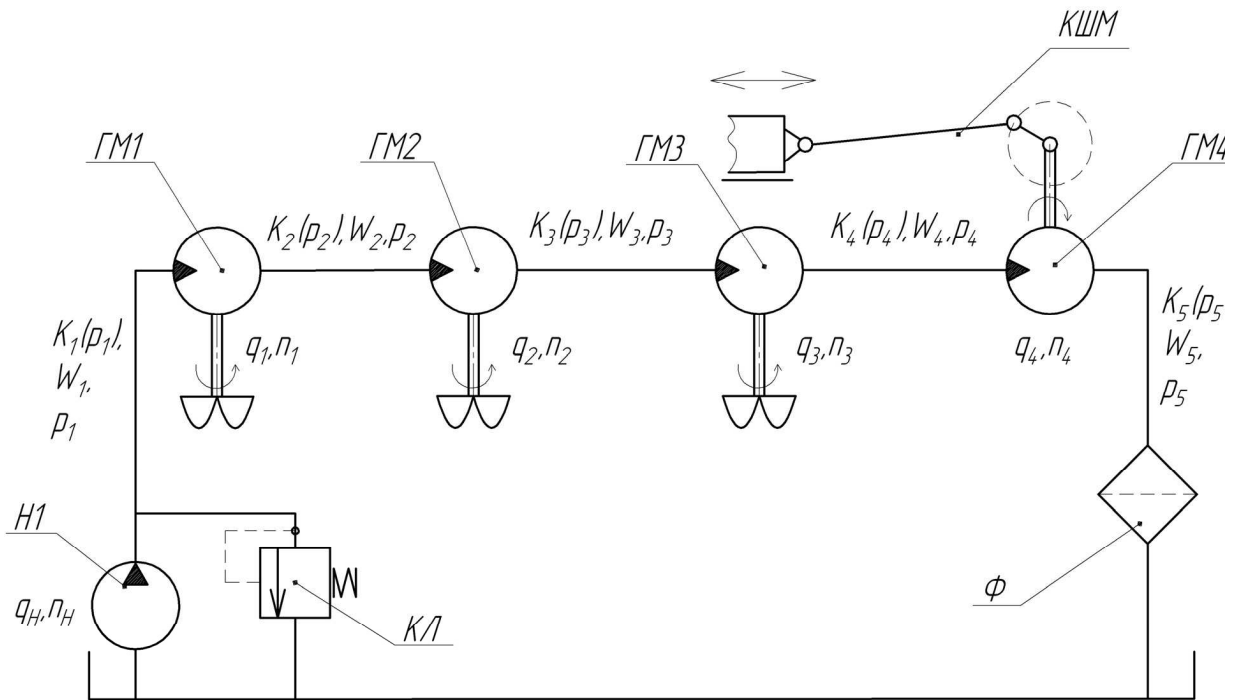


Рис. 1. Гидравлическая схема привода доочистителя ботвы ботвоуборочной машины  
 Fig. 1. The hydraulic circuit of purifier beet tops in haulm gatherer

Уравнение неразрывности потока рабочей жидкости на входе первого гидромотора имеет вид

$$Q_H = Q_{M1} + Q_{\text{ут.}1} + Q_{\text{пер.}12} + Q_{\text{деф.}1}, \quad (1)$$

где  $Q_H$  – расход жидкости, который поступает в гидравлическую систему от насоса;  $Q_{M1}$  – расход жидкости через первый гидромотор;  $Q_{\text{ут.}1}$  – расход утечек жидкости из полостей гидромотора ГМ1;  $Q_{\text{пер.}1}$  – расход перетечек жидкости между полостями гидромотора ГМ1 под действием перепада давлений  $p_1$  и  $p_2$ ;  $Q_{\text{деф.}1}$  – расход жидкости на компенсацию деформации полостей, которая находится под давлением  $p_1$ .

Уравнение неразрывности потока рабочей жидкости на входе второго гидромотора имеет вид

$$Q_{M1} + Q_{\text{пер.}12} = Q_{M2} + Q_{\text{ут.}2} + Q_{\text{пер.}2,3} + Q_{\text{деф.}2}, \quad (2)$$

где  $Q_{M2}$  – расход жидкости через второй гидромотор;  $Q_{\text{ут.}2}$  – расход утечек жидкости из гидромотора ГМ2;  $Q_{\text{пер.}2,3}$  – расход перетечек жидкости между полостями в гидромоторе ГМ2 под действием перепада давлений  $p_2$  и  $p_3$ ;  $Q_{\text{деф.}2}$  – расход жидкости на компенсацию деформации полостей, заполненных рабочей жидкостью, которые находятся под действием давления  $p_1$  и  $p_2$ .

Уравнение неразрывности потока рабочей жидкости на входе третьего гидромотора имеет вид  $Q_{M2} + Q_{\text{пер.}23} = Q_{M3} + Q_{\text{ут.}3} + Q_{\text{пер.}34} + Q_{\text{деф.}3}$ , (3)

где  $Q_{M3}$  – расход жидкости через третий гидромотор;  $Q_{\text{ут.}3}$  – расход утечек жидкости из гидромотора ГМ3;  $Q_{\text{пер.}2,3}$  – расход перетечек жидкости между полостями гидромотора ГМ3 под действием перепада давлений  $p_3$  и  $p_4$ ;  $Q_{\text{деф.}3}$  – расход жидкости на компенсацию деформации полости, которые находятся под давлением  $p_3$ .

Уравнение неразрывности потока рабочей жидкости на входе четвертого гидромотора имеет вид

$$Q_{M3} + Q_{\text{пер.}34} = Q_{M4} + Q_{\text{ут.}4} + Q_{\text{пер.}45} + Q_{\text{деф.}4}, \quad (4)$$

где  $Q_{M4}$  – расход жидкости через четвертый гидромотор;  $Q_{\text{ут.}4}$  – расход утечек жидкости из полостей гидромотора ГМ4;  $Q_{\text{пер.}4,5}$  – расход перетечек жидкости между полостями гидромотора ГМ4 под действием перепада давлений  $p_4$  и  $p_5$ ;  $Q_{\text{деф.}4}$  – расход жидкости на компенсацию деформации полостей, которые находятся под давлением  $p_4$ .

2. Баланс моментов сил, приложенных к валам первого, второго и третьего гидромоторов, определяется уравнениями моментов сил, приложенных к валам гидромоторов:

$$M_{\delta\epsilon 1} = M_{mn1} + M_{ин1} + M_{mp1}, \quad (5)$$

$$M_{\delta\epsilon 2} = M_{mn2} + M_{ин2} + M_{mp2}, \quad (6)$$

$$M_{\delta\epsilon 3} = M_{mn3} + M_{ин3} + M_{mp3}, \quad (7)$$

где  $M_{\delta\epsilon i}$  - момент, который развивается  $i$ -ым гидромотором,  $i=1,2,3$ ;  $M_{mn i}$  - момент технологического нагружения на  $i$ -ом гидромоторе,  $i=1,2,3$ ;  $M_{ин i}$  - момент инерционной нагрузки на  $i$ -ом гидромоторе,  $i=1,2,3$ ;  $M_{mp i}$  - момент сил трения, приведенный к валу  $i$ -ого гидромотора,  $i=1,2,3$ ;

Составляющие уравнений моментов определяются следующими зависимостями.

Модель характеристики трения с учетом зависимости  $M_{mp i}^c(p_i, p_{i+1})$ , которая характеризует влияние давления в полостях гидромотора на потери при его вращении, характеристика сухого трения в гидромоторе может быть представленной следующей зависимостью []:

$$M_{mp i}^c \left( \frac{d\varphi_i}{dt}, \tau_i, p_i, p_{i+1} \right) = \dots, \quad i = 1..4 \quad (8)$$

$$= M_{mp i}^c \left( \frac{d\varphi_i}{dt}, \tau_i \right) + \varepsilon_i(p_i, p_{i+1})$$

В случае малого промежутка времени “выстоя” (при включении гидромотора и отсутствии релаксационных колебаний скорости при работе гидромотора, характеристика момента трения может быть учтена в виде зависимостей, которые были получены для шестеренных и поршневых гидромашин [ ].

С учетом принятых предположений, составляющая потерь на трение, которая определяется коэффициентом  $\Delta\varepsilon_i$ , в дальнейшем не учитывается.

$$M_{mp i}^c = \varepsilon_0 \cdot (p_i \cdot F_i - 0.5 \cdot \psi_i \cdot (p_i + p_{i+1})) - \xi \cdot (p_i + p_{i+1}), \quad i = 1..4 \quad (9)$$

где  $F_i$  - эффективная площадь, которая определяется силами прижатия втулок и компенсаторов в  $i$ -ом гидромоторе;  $\psi_i$  - площади торцевых поверхностей втулок и компенсаторов в  $i$ -ом гидромоторе;  $\xi$  - коэффициент потерь на трение в цапфе шестерен;  $\varepsilon_0$  - средний коэффициент момента трения, который образовывается за счет прижатия ротора к распределителю;  $\Delta\varepsilon$  - амплитуда пульсации коэффициента  $\varepsilon_0$ , которая возникает в результате периодического изменения количества поршней, которая находится под действием давления в полостях гидромотора, и, соответственно, площади прижатия ротора к торцу распределителя.

3. Нагрузка на валу четвертого гидромотора определяется уравнением Лагранжа II рода. Математическое моделирование работы данного привода было рассмотрено в публикации [3].

Соответственно дифференциальное уравнение движения данного звена механизма имеет следующий вид:

$$I_{np} \cdot \frac{d^2}{dt^2} \varphi_4(t) - \frac{1}{2} \cdot \frac{dI_{np}}{d\varphi_4(t)} \cdot \left( \frac{d}{dt} \varphi_4(t) \right) = P_{\varphi 4}, \quad (10)$$

где  $I_{np}$  - приведенный момент инерции механизма;  $P_{\varphi 4}$  - обобщенная сила,  $\varphi_4(t)$  - координата вала четвертого гидромотора.

Математическая модель (1) - (7), (10) усовершенствованного привода доочистителя ботвоуборочной машины имеет вид системы восьми нелинейных дифференциальных уравнений. Общий порядок системы - двенадцатый. Исследование этой модели вызывает определенные трудности, поэтому было принято решение относительно ее упрощения путем замены отдельных нелинейных характеристик линейными зависимостями или замены нелинейных коэффициентов при возможности постоянными числовыми значениями, полученными экспериментально.

Характерным признаком данной математической модели есть наличие значительного количества нелинейных зависимостей, которые описывают поведение элементов данной гидросистемы. Нелинейный характер разработанной математической модели, которая имеет высокий порядок дифференциальных уравнений, усложняет ее исследование, целью которых является детальный анализ особенностей работы данной гидравлической системы при разных режимах работы, разных режимах загрузки рабочих органов и разработка рекомендаций по проектированию систем данного типа.

Следует отметить, что для исследования нелинейных систем в динамическом состоянии предлагается довольно много прикладных математических пакетов, таких как Mathcad, Maple, Matlab. Решение данной системы возможно практически в любом из этих математических пакетов, поэтому для поиска решений данной системы воспользуемся Mathcad.

В результате решения данной системы уравнений получим переходные процессы изменения давления в полостях гидравлической системы и угловой скорости гидромоторов. Переходной процесс изменения давления в полостях гидравлической системы показан на рис. 2 при следующем соотношении параметров:  $q_1, q_2, q_3 = 40 \text{ см}^3/\text{об}$ ,  $q_4 = 20 \text{ см}^3/\text{об}$ ,  $W_1, W_2, W_3, W_4 = 100 \text{ см}^3$ ,  $m_1 = 10 \text{ кг}$ ,  $m_2 = 10 \text{ кг}$ ,  $m_3 = 100 \text{ кг}$ ,  $\beta_{np4} = 6 \cdot 10^2 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}$ ,  $Q_n = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $I_1 = I_2 = I_3 = 0.1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ,  $I_4 = 1.5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ .

Переходный процесс, показанный на рис. 2 свидетельствует о наличии колебательных процессов в гидравлической системе данной машины. При данном соотношении параметров гидравлическая система работает в режиме автоколебаний. В отличие от переходного процесса, показанного на рис.3 при следующем соотношении

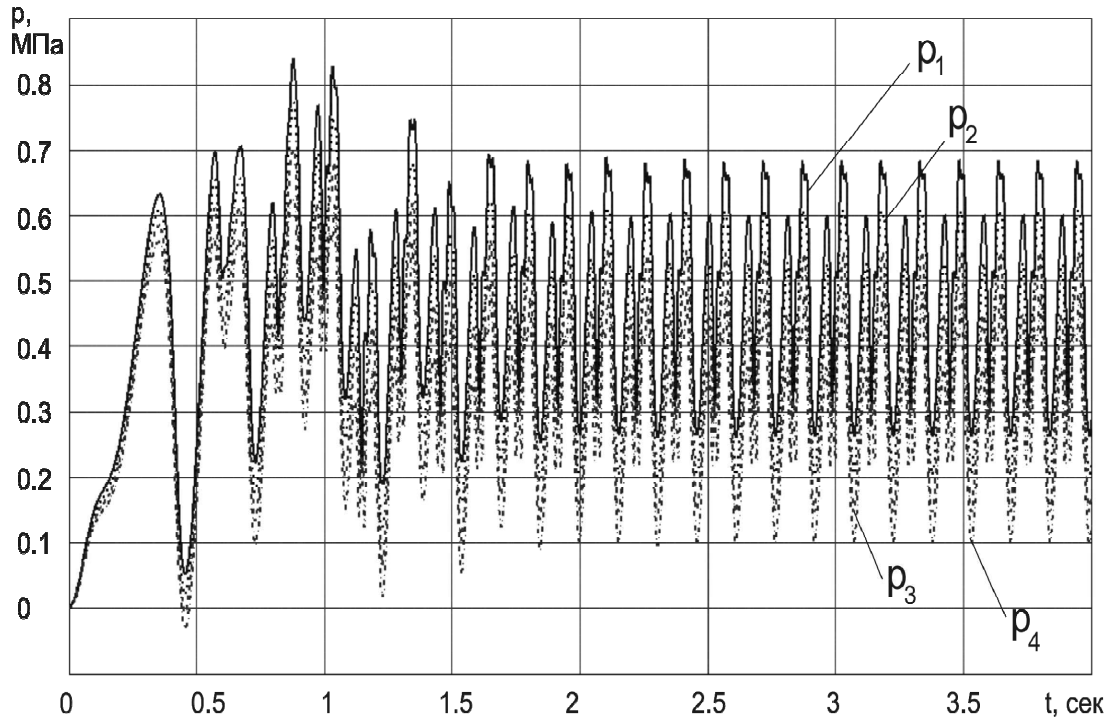


Рис. 2. Переходные процессы работы гидравлической системы  
 Fig. 2. The transient process in hydraulic system

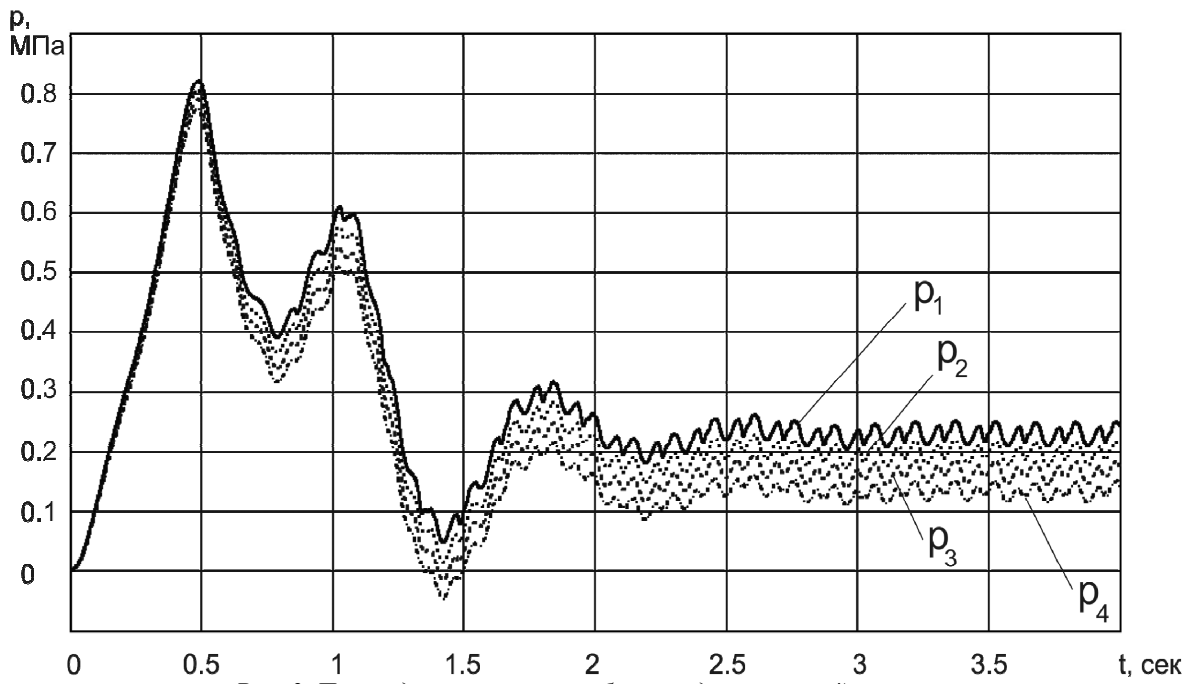


Рис. 3. Переходные процессы работы гидравлической системы  
 Fig. 3. The transient process in hydraulic system

параметров системы:  $q_1, q_2, q_3 = 40 \text{ см}^3/\text{об}$ ,  $q_4 = 20 \text{ см}^3/\text{об}$ ,  $W_1, W_2, W_3, W_4 = 100 \text{ см}^3$ ,  $m_1 = 10 \text{ кг}$ ,  $m_2 = 10 \text{ кг}$ ,  $m_3 = 100 \text{ кг}$ ,  $\beta_{\text{гпд}} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}$ ,  $Q_{\text{н}} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $I_1 = I_2 = I_3 = 0.1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ,  $I_4 = 1.5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ,  $I_1 = I_2 = I_3 = 0.1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ,  $I_4 = 3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ .

Изменение характера переходного процесса было вызвано увеличением момента инерции на четвертом гидромоторе. В результате, переходный процесс показанный на рисунке 3 является затухающим, имеет значительное перерегулирование и частоту колебания давления на уровне 2 Гц. Наличие автоколебательных процессов с амплитудой в 0.05 МПа (6%) объясняется систематическим изменением инерционной нагрузки на четвертом гидромоторе благодаря применению кривошипно-шатунного механизма в приводе перемещения рамы с рабочими органами доочистителя.

Следует отметить, что наличие автоколебательных переходных процессов в гидравлической системе отрицательно влияет на устойчивость и качество работы машины, приводя в свою очередь к повышенному износу гидромоторов, разрыву трубопроводов, увеличению зазоров в механических соединениях.

### ВЫВОДЫ

Во время исследования математической модели, было отмечено, что при пуске четырех последовательно соединенных гидромоторов без нагрузки на рабочие органы возникают автоколебательные переходные процессы, которые усложняют работу данной гидравлической системы, снижают ресурс и отрицательно влияют на качество работы ботвоочистительного агрегата в целом.

При проведении анализа влияния параметров системы на качество ее работы. Было выявлено, что наибольшее влияние на колебательность системы имеет приведенный момент инерции кривошипно-шатунного механизма к валу гидромотора.

С целью уменьшения колебательности данной системы необходимо установить маховик, на вал гидромотора с кривошипно-шатунным механизмом. Также необходимо провести дополнительные исследования влияния на качество работы данной системы расположения кривошипно-шатунного механизма с целью оптимизации конструкции и обеспечения необходимого качества работы привода.

### ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.agrochart.com/ru/news/news/191112/ukraina-obzor-proizvodstva-saharnoj-sveklyi/>

2. Погорелец О. М., 2004: Гидропривод сельскохозяйственной техники: Учебное пособие/ О.М. Погорелец, М.С. Волянський, В.Д. Войтюк, С.І. Пастушенко; За ред. О.М. Погорельца. - К.: Высшее образование. 368.

3. Попов Д.Н., 1976: Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем: Учебник для вузов. - М.: Машиностроение, 424.

4. Башта Т. М., 1972: Гидропривод и гидропневмоавтоматика. М.: «Машиностроение», 320.

5. О. Litvinov, 2006: К динамическому расчету машин/О. Litvinov, W. Tanas. – MOTROL, №8А, 210 - 223.

6. Погорелый Л.В., 2004: Свеклоуборочные машины: история, конструкция, теория, прогноз/ Л.В. Погорелый, Н.В. Татьяна – К.: Феникс, 232.

7. Мартиненко В.Я., 2000: Механіко-технологічні основи підвищення ефективності робочих органів гичкозбиральних машин: дис... доктора техн. наук / В.Я. Мартиненко. – Тернопіль, 310.

8. Гунько І.В., 1999: Групповий гідропривод робочих органів машин сільськогосподарського призначення з послідовним з'єднанням гідромоторів: дис... канд. техн. наук / І.В. Гунько Вінниця., 254.

9. В. Булгаков, И. Головач., 2006: Аналітичне визначення втрат гички при коливаннях роторного гичкорізального апарату у повздовжньо – вертикальній площині. - MOTROL, №8А, 28 - 39.

10. В. Булгаков, В. Адамчук, И. Головач., 2008: Дослідження удару при взаємодії вібраційного викопуючого органу із тілом коренеплоду. MOTROL, №10, 31 - 44.

11. И. Николенко, А. Рыжаков. 2009: Переходные процессы в гидроприводе с дискретным машинным регулированием// MOTROL, №11А, 52 - 65.

### RESEARCH OF PROCESS WHICH TOWARDS ON START OF THE HYDRAULIC DRIVE WITH FOUR HYDROMOTORS, CONNECTING IN PARALLEL.

**Summary.** The mathematical model of hydraulic system of a sugar beet tops cleaner with four hydromotors, connecting in parallel, are consider. The calculation method of the mathematical model are offer. The questions of start hydromotors and quality of operation of the hydraulic system have been consider.

**Keywords:** hydraulic system, cleaner sugar beet tops, four hydromotors, connecting in parallel

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ В РАЙОНЕ САКСКОГО ОЗЕРА

Чабан Виктор

ДП «Сакская ГГРЭС»  
Адрес: Украина, г. Саки, ул. Курортная 4  
e-mail: vic-84@list.ru

**Аннотация:** в работе изучена перспектива использования альтернативного источника энергии мини-ГЭС, с целью снижения загрязнения геологической среды выбросами ТЭЦ в районе водозабора Сакского соленого озера.

**Ключевые слова:** геологическая среда, альтернативные источники энергии.

### ВСТУПЛЕНИЕ

Сакское соленое озеро расположено в западной части Крымского полуострова и отнесено к озерам Евпаторийской группы. Специфическое воздействие природных факторов (геоморфологических, геологических, тектонических, гидрогеологических, климатических и биологических) на протяжении тысячелетий привело к образованию донных отложений и рапы, бальнеологические показатели которых позволяют успешно применять их при лечении многих заболеваний [4].

Со второй половины XX века происходит сильное техногенное преобразование прилегающих территорий, что приводит к загрязнению объектов геологической среды (далее ГС). На сегодняшний день, основным источником загрязнения является Сакская городская агломерация. Сам город и прилегающие села снабжаются электроэнергией, вырабатываемой Сакской ТЭЦ, которая является загрязнителем ГС. Полный или частичный переход на альтернативные источники получения электроэнергии позволит значительно уменьшить загрязнение от техногенных источников [12].

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Природные и техногенные факторы, влияющие на формирование ГС в районе водозабора Сакского соленого озера, в разное время изучались рядом ученых: С.В. Альбовым, А. И. Дзенс-Литовским, С. А. Пастаком, В. И. Родкиным, В. А. Хохловым, О. А. Гуловым и др.

При исследовании техногенных загрязнителей использовался опыт ученых, занимающихся изучением влияния процессов техногенеза на ГС в городских агломерациях: В. А. Королева, Э. В. Соботовича, Н. Ветровой.

Разработка предположений по использованию альтернативных источников энергии в районе исследования проведена с учетом результатов испытаний бесплатинных мини-ГЭС Н. И. Леневым.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Методика заключается в сборе, анализе и систематизации литературных и фондовых материалов по теме исследования; проведении обследования с контрольным отбором проб почвы и грунтовых вод в период с 2008 – 2009 г.г.; создании схем расположения мини ГЭС.

### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Целью исследования** является изучение возможности использования альтернативных источников энергии для снижения техногенного загрязнения ГС в районе Сакского соленого озера.

#### **Задачи исследования:**

- рассмотреть особенности формирования ГС в районе исследования;
- провести анализ современного состояния ГС;
- на основе анализа особенностей ГС определить наиболее перспективный альтернативный источник энергии.

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Формирование ГС** происходило под воздействием специфических природных факторов: геоморфологических, геологических, тектонических и гидрогеологических.

*Геологические факторы.* Территория района исследования относится к Новоселовскому поднятию - крупнейшему положительному элементу равнинного Крыма. В пределах Новоселовского поднятия отложения палеогена почти полностью отсутствуют, неоген залегает на породах верхнего мела, а местами на альбе. Верхнемеловые отложения имеют неполный разрез и на большей части площади незначительную мощность. В то же время мощность альбских отложений очень велика (700-860 м). Палеозойское складчатое основание залегает здесь на глубинах 930-1600 м и осложнено рядом локальных структур. Новоселовское поднятие отделено от Калиновского

грабена, по-видимому, домиоценовым разломом. Разломы фундамента намечаются по геофизическим данным и в пределах самого поднятия.

Пять тысяч лет назад геологические факторы были определяющими в процессе образования водоема и прилегающих территорий, однако на сегодняшний день не происходит каких-либо изменений геологических условий.

*Геоморфологические факторы.* Изучаемая территория расположена в Сасык-Альминском районе степной области центральной подобласти равнинного Крыма. Сасык-Альминский равнинно-балочный район занимает площадь 1650 км<sup>2</sup>. Генетически это аккумулятивная приморская равнина (в границах Альминской впадины), сложенная толщей мезозойских и палеогеновых отложений, которые перекрыты неогеновыми известняками и континентальными красно-бурыми плиоценовыми и четвертичными глинами. Последние, мощность которых достигает нескольких десятков метров, придают своеобразие ландшафту и оказывают существенное влияние на развитие рельефа. На общем фоне равнинного рельефа Сасык-Альминской низменности с абсолютными высотами до 40-60 м четко вырисовываются разработанные палеоэрозией в глиняной толще ложины и балки. Ложино-балочная сеть связана с речными долинами, направленными в сторону Черного моря. Ландшафтная структура наиболее сложная по сравнению с другими районами подобласти. Равнинно-ландшафтный тип местности занимает 54% всей площади района. Этим местностям свойственны лучшие и наиболее мощные в Пионе карбонатные черноземы [1].

Прямого влияния на гидрологический режим лечебных водоемов (Восточный и Западный) вышеуказанные факторы не оказывают, но при экстремальных проявлениях климатических факторов (обильные осадки, паводки и т.д.), специфические геоморфологические условия района могут быть причиной затопления лечебных водоемов пресными водами. Размытие дамб и переток больших объемов пресной воды вниз по каскаду водоемов уже приводил к распреснению Восточного бассейна в 1911 и 1947 г.г.

*Гидрогеологические факторы.* Водоносные горизонты четвертичных отложений дренируются котловиной Сакского озера и являются основной составляющей его водно-солевого баланса.

Грунтовые воды, питающие озеро, подразделяются на следующие генетические типы: 1. Воды лиманно-морских и современных морских песчано-галечных отложений. Имеют, в основном, хлоридно-натриевый состав с минерализацией 10 - 14 г/дм<sup>3</sup>; 2. Воды эолово-делювиальных отложений распространены на северном берегу Сакского озера в загипсованных лессовидных суглинках на глубинах 1,0 - 2,0 м; 3. Воды аллювиально-пролювиальных отложений приурочены к песчано-

галечным террасам и супесчано-суглинистым отложениям балок.

Грунтовые воды, разгружающиеся в Сакском озере, оказывают большое влияние на его гидрологический и гидрохимический режимы.

**Современное состояние ГС.** Интенсивное развитие хозяйственной деятельности во второй половине XX века обусловило образование вокруг водоема большого количества потенциальных источников техногенного загрязнения, которые по особенностям влияния на ГС целесообразно объединить в три группы: сельское хозяйство, химическая промышленность и городская застройка.

*Сельское хозяйство.* По масштабам влияния на ГС сельское хозяйство района занимает ведущее место [3]. Часть сельскохозяйственных угодий Сакского района находится в границе водосборной площади Сакского соленого озера и является причиной поступления загрязнителей с поверхностным стоком и грунтовыми водами в защитные водоемы. Проведенные в 2007 г. исследования установили превышения ПДК ряда химических показателей в защитных водоемах: окисляемость превышена в 3,5 раза; содержание аммиака в 2,3 раз; БПК в 2,5 раза, сухой остаток в 3,5 раза и фосфаты в 13 раз. Так же отмечено высокое содержание нитратов и нитритов.

*Химическая промышленность.* Химические объекты района не многочисленны, основным источником загрязнения ГС в 80-х годах прошлого столетия являлся химический завод.

В настоящее время завод не функционирует, но проведенный эколого-геологический анализ состояния прилегающих территорий установил остаточные концентрации загрязнителей в почвах, превышающие ПДК свинца в 3,5 раза, цинка в 13 раз, меди в 42,5 раза, никеля в 8,5 раз и хрома в 53,5 раза. В грунтовых водах установлены незначительные концентрации тяжелых металлов или полное их отсутствие. Полученные данные свидетельствуют о значительном снижении загрязнения ГС после закрытия завода.

*Городская застройка.* Жилые массивы г. Саки вместе с объектами санаторно-курортного комплекса и сопутствующей инфраструктурой являются опасным источником загрязнения, степень влияния которого на ГС постоянно возрастает [6]. Так, контрольный анализ загрязнения почв в центральной части города установил превышения ПДК свинца в 3,5 раза, цинка в 21,5 раза, меди в 31,5 раза, никеля в 31 и хрома в 32 раза [11].

Следует отдельно выделить такой источник загрязнения как ТЭЦ [8]. Основанный в 50-х годах прошлого столетия комплекс по производству пара для химического завода, в 1962 г. был переоборудован под выработку электроэнергии. Изначально ТЭЦ работала на угле и мазуте, но затем была переведена на газ. Несмотря на снижение количества загрязнителей после перевода



на природный газ, в настоящее время Сакская ТЭЦ остается одним из ведущих источников техногенного загрязнения ГС окисью серы и окисью азота [5, 13].

В обычном режиме работы Сакская ТЭЦ производит 17 – 18 МВт, а при максимальной нагрузке – до 20 МВт электроэнергии. Полный или частичный переход на альтернативные источники энергии позволит снизить техногенное воздействие Сакской городской агломерации на ГС [10].

**Альтернативный источник энергии.** В результате анализа особенностей ГС в пределах района исследования, наиболее перспективным источником получения электроэнергии определена мини-ГЭС. Единственным подходящим местом для установки ГЭС является гидротехническая система (далее ГТС) Сакского озера.

ГТС была создана для регулирования гидрологического режима лечебных и защитных водоемов Сакского озера. Ее функции заключаются в отводе избытка вод во время осенних и весенних паводков и закачки морской воды в засушливое время года. ГТС расположена на южном берегу Сакского озера и состоит из двух каналов, системы шиберов и двух насосных станций.

Михайловский сбросной канал служит для откачки избыточных вод из бассейнов в биопруд накопитель, а затем в море. Канал имеет длину 2500 м и ширину 3 – 5 м. Часть канала взята в бетонный лоток. От начала канала (возле Михайловского водоема), до Озерной насосной станции (расположенной возле разделительной дамбы между Восточным и Западным бассейнами) вода поступает самотеком, далее насосами поднимается на холм высотой 8 м, откуда самотеком попадает в биопруд накопитель.

Морской канал служит для закачки морской воды в водоемы. Морская вода под напором подается в трубопровод, а далее самотеком по бетонному лотку поступает в бассейны.

Скорость потока воды зависит от мощности работы насосных станций и участка канала. Скорость колеблется в пределах от 4 до 17 м/с, чего вполне достаточно для функционирования мини-ГЭС.

Исходя из конструктивных особенностей и технических характеристик, следует рассмотреть два варианта расположения мини-ГЭС.

**Первый вариант** предполагает создание платинной ГЭС с классической схемой компоновки узлов и использованием небольших гидроагрегатов, работающих при малых скоростях водного потока. В таблице 1 даны сравнительные характеристики существующих гидроагрегатов подходящих для мини-ГЭС [9].

Таблица 1. Гидроагрегаты для мини-ГЭС  
Table 1. Hydroelectric mini-HES

| тип гидроагрегата                           | мощность, КВт |
|---|---------------|
| гидроагрегаты с осевыми турбинами           | до 1800       |
| гидроагрегаты с радиально-осевыми турбинами | до 5600       |
| гидроагрегаты с ковшовыми турбинами         | до 5200       |

При расположении мини-ГЭС следует учитывать переменность работы Михайловского и Морского каналов. Для обеспечения беспереывной выработки электроэнергии следует устанавливать по одной станции на каждый канал [1]. Мини-ГЭС следует располагать на участках каналов с наибольшей скоростью водного потока: одну на водовыпуске из Михайловского водоема; другую – в начале участка лотковой части Морского канала (рис. 1).

Большим плюсом создания станций с классической схемой компоновки узлов является простота в их эксплуатации: на техническое обслуживание двух мини-ГЭС не будет уходить много времени и средств, к тому же для функционирования станций достаточно создать высокую скорость водного потока только на двух участках ГТС.

К минусам относится сложность строительства, вызванная необходимостью расширения некоторых частей каналов и установки платин.

**Второй вариант** предполагает использование бесплотинных мини-ГЭС конструкции Н.И. Ленева, принцип действия которых заключается во вращение системы лопастей под давлением воды, что, в свою очередь приводит к вращению вала с установленным электрогенератором. Для удержания станции на поверхности воды используется понтонная конструкция.

Согласно заявленным характеристикам [7], бесплотинная мини-ГЭС может вырабатывать до 11 КВт при скорости потока воды 1 м/с. Несложно рассчитать, что при скорости потока в канале 4 – 17 м/с мощность вырабатываемой энергии возрастет до 180 КВт. Конструктивные особенности бесплотинной мини-ГЭС позволяют установку нескольких блоков в руслах каналов, что значительно увеличит выработку энергии (рис. 2).



Рис. 1. Схема расположения плотинных мини-ГЭС  
Fig. 1. Arrangement of mini-HES dam



Рис. 2. Схема расположения безплотинных мини-ГЭС  
Fig. 1. Arrangement of mini-HES no dam

Основным достоинством такой системы является простота в монтаже, поскольку нет необходимости расширять русло и строить платины.

Но в условиях ГТС Сакского озера бесплотинная мини-ГЭС будет сложна в эксплуатации, так как рассредоточение по руслам каналов блоков станции значительно затруднит их техническое обслуживание и охрану. Еще одним минусом является необходимость чистки русел каналов от зарослей камыша.

### ВЫВОДЫ

1. Проведенные исследования установили, что в результате сильного техногенного загрязнения района исследования происходит накопление загрязнителей в почвах. В таких условиях ГС выступает как среда накопления и транзита загрязнителей в Сакское соленое озеро.
2. Сакская ТЭЦ является одним из источников техногенного загрязнения, поэтому частичный или полный переход на альтернативные источники электроэнергии позволит снизить загрязнения ГС в районе водозабора Сакского соленого озера.
3. В результате анализа особенностей ГС в пределах района исследования наиболее перспективным источником получения электроэнергии определена мини-ГЭС. Единственным подходящим местом для установки ГЭС является ГТС Сакского озера.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Альбов С.В. 1956. Гидрогеология Крыма. Ан УССР, К., – 140.
2. Бекиров Э., Стрижаков К. 2012. Оптимизация режимов распределения нагрузки в совмещенной системе возобновляемыми источниками энергии // MOTOROL motorization and industry agriculture. Volume 14. № 1 – Ludlin – Simferopol – Mykolaev – Riev - Lviv, – 149 – 154.
3. Бобок Б. Д. 1955. Вопросы развития и размещения сельского хозяйства Крымской области. // Вестник ЛГУ. №10. - Ленинград: ЛГУ, - 77 - 88.
4. Гулов О. А., Хохлов В. А. 2007. Информация о современном состоянии гидроминеральных ресурсов лечебного назначения на территории АР Крым.// Сборник статей специалистов ДП «Сакская ГГРЭС» 1995 – 2007. – Саки: ГГРЭС - 41 – 44.
5. Ветрова Н. 2010. Особенности современного состояния проблем энергосбережения Крыма // MOTOROL motorization and industry agriculture. Volume 12 с. – Ludlin - Simferopol, – 121 – 129.

6. Ветрова Н. 2010. Устойчивость окружающей природной среды и оценка уровня экологической безопасности // MOTOROL motorization and industry agriculture. Volume 12 d. – Ludlin - Simferopol, – 181 – 201.

7. Независимый научно-технический портал. Мини ГЭС нового поколения. Ссылка на ресурс: [http://ntpo.com/techno/techno2\\_2/10.shtml](http://ntpo.com/techno/techno2_2/10.shtml).

8. Ревич Б.А., Саэт Ю.Е., Смирнова Е.П., Сорокина Е.В. 1982. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими элементами. М.: ИМГРЭ, – 112.

9. Сайт: Альтернативная энергия. Мини ГЭС. Ссылка на ресурс: <http://aenergy.ru/miniges>.

10. Сергеев Е. М. 1988. Проблемы инж.геол. в связи с задачами рационального использования и охраны геол. среды. // Проблемы рационального использования геологической среды. - М.: Наука, - 5-21.

11. Чабан В.В. 2006. Исследование экологической обстановки Сакского соленого озера // Сборник научных трудов «Строительство и техногенная безопасность».№ 17. - Симферополь: НАПКС, – 34 – 39.

12. Чабан В.В. 2008. Особенности формирования Сакского соленого озера под воздействием природных и техногенных факторов // Сборник научных трудов «Строительство и техногенная безопасность».№ 23. - Симферополь: НАПКС, – С 38 – 42.

13. Экологический портал. Взаимодействие ТЭС и окружающей среды. Ссылка на ресурс: <http://portaleco.ru/ekologija-goroda/vzaimodejstvie-tes-i-okruzhajushchej-sredy.html>.

**Summary:** The results of the study of natural and anthropogenic factors influencing the formation of geological environment in the catchment Saki Salt Lake. Studied the degree of contamination of the geological environment. In order to reduce the intensity of industrial pollution is proposed the use of alternative energy sources. We consider the prospect of two types of mini-hydropower plants.

**Keywords:** geological environment, alternative energy sources.



## RELIABILITY OF THE FUNCTIONING OF THE WATER SUPPLY AND SEWERAGE SYSTEM

Enver Saliev

National Academy of Environmental Protection and Resort Development,  
Kievskaya street 18, r. 303, Simferopol, Autonomous Republic of Crimea, postcode: 95493, Ukraine,  
E-mail: pk@napks.edu.ua

**Summary.** *The article concerns the property of reliability, as basic part of quality of the water supply system. Main aspects of reliability are described. Directions of security of reliability, structural security of reliability, control of reliability are observed. Structural and temporal redundancy of security of reliability, preventive system and the water supply and sewerage systems are covered. Property of maintainability as one of reliability items is defined.*

**Key words:** *the water supply and sewerage system, reliability, quality, technical state, maintainability, service, repair, operation.*

### INTRODUCTION

The water supply and sewerage system occupies major place among a lot of branches of modern technique, guided on raise of people's living standards, an accomplishment of human settlements and an industrial development.

The security of the population by pure, good-quality water has major hygienic significance as it protects people from the various epidemiological diseases transmitted through water. The feed of enough water in a human settlement allows to lift a common level of its development. For users' satisfaction, the enormous amounts of water are required, sometimes attaining to thousands cubic meters a day.

The security of the reliability of the water supply and sewerage systems, as well as to all service systems, is one of the primal tasks in their projection. The system should be projected and constructed to be capable not to execute the functions only, but also to supply their uninterrupted fulfilment in the preset extent actually in the process of use. As a function of the water supply systems is to supply the water for users in amounts demanded by it (according to the preset regime of consumption) and demanded quality, it is possible to consider, at an actual fulfilment of these conditions, that the system is in "operable state".

If because of any reasons a normal performance of the system is damaged and decrease of a quality of service of installation exceeds admissible (provided by standards) so the system "failure" occurs. The breaking of system's functioning can occur because of intolerable long-term break or temporal decrease of water delivery to installation of supply, intolerable decrease of the preset pressures in a water-supply line, deterioration of quality of the given water.

Lots of various events can be cause of failures: faults of lines of water transportation (water ducts, a primary

circuit), defects of pumps and electric power stopping delivery on pumping stations, intolerable level recession of water in a radiant of the water supply or pond water pollution. Some of the named events can cause even the absolute (temporal) water failure to supplied installation. Most of the events calling a quality's fall of the service are fortuitous, which are not possible to foresee and to prevent [17].

As the majority of water delivery' failures is called by various occasional events, the numerical evaluation of reliability of the water supply system has probable character and can be gained by the analysis and machining of the statistical data accumulated as a result of recording of similar events.

According to an official nomenclature, "reliability" is defined «as a property of an object to perform specified functions, keeping in a time the values established parameters».

To the basic reliability indexes of systems, structures, installations, devices refer to:

- The probability of their trouble-free operation, i.e. probability of no failure during the operating time;
- Failure rate, i.e. the probability of failure for an observed point of time.

### STATEMENT OF PROBLEM

The quality played out in a time is termed as reliability, that is property of an object to perform specified functions, keeping in a time the values established parameters in the necessary limits matching to the preset regimes and use conditions, mechanical services, repairs, storage and transportation.

The reliability of processes, as well as in case of the reliability of service, is the complex index of a quality defining a possibility of process to supply a quality of process consistently at the fixed cost price and productivity.

The quality and the reliability of the technical system are the properties which are changed in a time and crossly influence on each other, initial for security, management and improvement of the quality. The quality of the water supply and sewerage systems is sized up on a population of properties to fulfill certain needs according to its assigning.

The reliability is an item of various properties of engineering installation and is stipulated: non-failure operation, longevity, maintainability and a conservability.

The reliability of engineering systems is defined by perfection of their design, constructions and manufacturing methods of the equipment and assembly units, and also depends on an application conditions, service and repair in many respects. In different concrete events any property defines the property of the installation's reliability in better extent, but any of them does not define reliability completely [20].

The conditions of normal operation, and also the reasons of falling out of the water supply and sewerage systems are diversiform and depend on many factors. They are defined by the quality of projection, manufacturing of the equipment, building, mounting and operation. The monitoring, maintenance and restoration of an operable state of the water supply and sewerage systems are the most important problem of engineering exploitation for security of a demanded reliability level, at the preset longevity and technical-and-economic indexes.

With allowance for up-to-date availability index of product of a feeding system of water and the outfall with the considerable deterioration of main funds, and also overwork and ineffective use of material and power resources a special role for quality indexes and reliability renders maintainability of the water supply and sewerage

systems and its devices. Maintainability is a property of an engineering system and its devices which includes the adaptiveness to forestalling and discovery of reasons, faults, to maintenance and restoration of an operable state by conducting of mechanical services and repairs.

Making of the controlling systems preventing negative aftereffects of processes, flowing past in the water supply and sewerage systems, being an embodiment of a principle of adaptation and self-regulation not only for working functions of system, but also for its quality indexes' saving .

The quality is a perspective direction for the complex systems and the gears, working in an intense application conditions what the water supply and sewerage systems are.

### QUALITY ASSURANCE OF THE COMPLEX ENGINEERING SYSTEMS

The quality assurance of the complex engineering systems is the complex problem including a number of interdependent aspects, due to the operating factors defined by principles, methods and resorts of security and maintenance of demanded reliability indexes (fig. 1).

The practice of making and operation of the water supply and sewerage systems confirms three main aspects of the reliability: system (structural), including methods of their system architecture at the stage of projection; technological, referring to a production phase, the buildings, including methods of manufactures of the equipment, refining materials' properties, and also tests, starting and adjustment, engineering following up of items in production; embracing principles and an assembly method, adjustments, operation, diagnosis, mechanical services and repair.

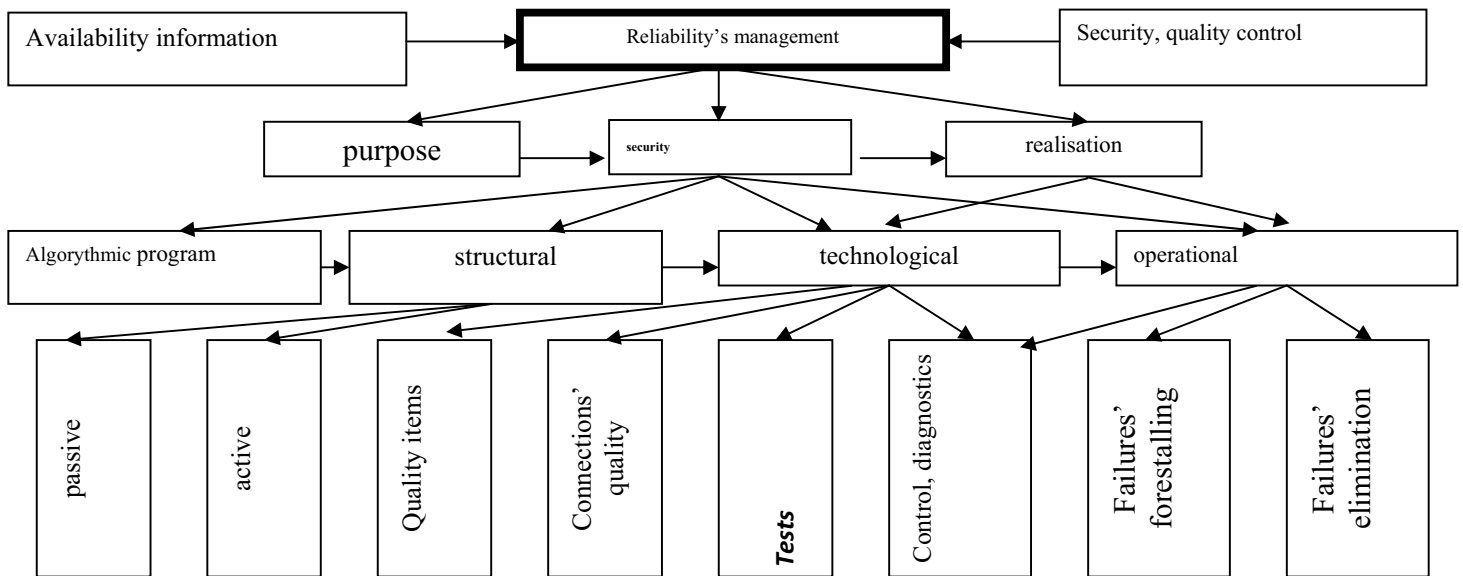


Fig.1 the Scheme of security of reliability WDS

The most perspective direction of security of reliability of the water supply and sewerage systems, allowing considerably increasing its efficiency is the necessity to consider making of conditions and methods of active security of reliability at all stages of life cycle. At the first stage at projection of assembly units and systems with allowance for all aspects in their close interconnection it is attained by means of a justification of matching structural, functional and constructive schemes of the water supply system, and also element and materials' supply. The rational structure, from the point of view of reliability, develops at the binding account of all basic processes attending performance of the water supply system, and also prospective regimes and conditions of their operation.

At the stages of manufacture and operation the mortgaged reliability level is implemented and expended. So, the production and the water supply and sewerage systems' operation should be produced proceeding from problems and the possibilities mortgaged at the first stage of making the system. Maintenance of a high level of reliability during the long-term operation at a modification of its regimes and conditions in wide diapasons supplied at use of a possibility of self-organizing of the complex systems, and also active control in their parameters.

At the system's installation in operation, a main condition of security of an operable state is the control of mounting and adjustment quality. The properties mortgaged at projection and parameters of assembly units, the equipment in the course of its manufacture are not reproduced with an absolute accuracy, and diverse conditions of mounting, adjustment, exploitation differently influence intensity of processes of a modification of service capability and augment these differences even more. Therefore knowledge of passport properties and parameters of system components of the water supply and sewerage systems is insufficient for their correct use, mechanical services and repair [19].

### STRUCTURAL SECURITY OF RELIABILITY

A main singularity of the water supply and sewerage systems is inequality in a time of parameters and recurrence of operation. This singularity is a defining condition at the solution of a problem of structural security of reliability of the water supply system and the outfall at the stage of their projection. So, interlocking of functions, characteristic of the water supply system allows observing minimum structure as system within bridge and sequentially connected devices, and properties of mass allocation of feeds to use for engineering realization of idea of subsystems of security of reliability.

Structural security of reliability of the water supply and sewerage systems represents an essential part of

common system of security and quality control. It is carried out at the expense of purposeful development or a modification of the block diagram of the water supply and sewerage systems in its projection. Subsystems of security the reliabilities inducted into a system structure of the water supply and the outfall, maintaining of demanded reliability realize active impact on its devices for the purpose. The strategy of implementation and expending of an operational life of assembly units of the water supply and sewerage systems, i.e. a production process and exploitation methods, also should develop on a projecting phase [9].

The basic peculiarities of the water supply system and tap of drainages are their mass character, duration of production of base models of assembly units and the equipment, and also the long-term expected life till 20 and more years. These singularities essentially complicate conditions of security and control of reliability and quality of such systems.

Even for an up-to-date level of development of technique and production engineering, it is very difficult to supply with a rational fashion reliability of the water supply system created for the long-term time of production and exploitation in the conditions of restricted financial resources. In this connection there is a problem of development of design techniques and operation of the water supply and sewerage systems, based that structural and constructive schemes of systems should guess an optimising control of the operational factors supplying desired values of reliability indexes. Scheduling of operation of the water supply system and the outfall should be yielded with allowance for these possibilities.

Subclasses of structural security of reliability.

For security of a demanded quality level of the water supply and sewerage systems, the control of reliability is carried out impact on the parameters defining reliability. It is possible to observe two subclasses of structural security of reliability: active and passive. Active structural security of reliability provides injection in a system structure of the water supply and sewerage systems of subsystems of security of the reliability, realising the forestalling and removal of possible operational failures. The subclass of passive security of reliability of the water supply system and a tap of drainages introduce traditional structural methods: stores on parameters, redundancy of devices, systems, subsystems, etc. Exploitation of the water supply and sewerage systems with subsystems of security of reliability should guess rational control in its structural parameters in the course of the long-term performance. Redundancy of devices, subsystems, and also stores by parameters are possible to use if the power limitations allow, costs, or if any other alternatives are hard to realise in the given system.

The security of reliability by means of redundancy and stores on parameters in hydromechanical systems at stochastic loadings has certain complexities. Designs of hydraulic, mechanical and hydromechanical systems in such conditions do not allow to supply full redundancy as it demands magnification material - and power consumption.

An application of resorts and methods of an automation on the basis of measuring and computing device for control in parameters of reliability of the water supply and sewerage systems in the course of their operation is one of principal directions of raise of their technological level. Therefore in modern systems of water feed and the outfall in view of their considerable cost, complexity, energy content and an automation large-scale, statement and a problem solving of a quality assurance and reliability demand application of special control devices.

**CONTROL OF RELIABILITY**

For control the reliability of the water supply and sewerage systems it is necessary to apply approaches and methods of the theory of automatic regulation. Generally the control action is formed depending on a controlled quantity modification, and also from external influences. The control action generally is represented in the form of a functional:

$$R = F \left( x_i, v_i, \frac{dx_i}{dt}, \dots, \frac{dv_i}{dt}, \dots, \int x_i dt, \dots, \int v_i dt \right) \quad (1)$$

Where  $x$  - a controlled variable;  $v$  - parameter of external influences;  $\frac{dx}{dt}$  and  $\frac{dv}{dt}$  - derivatives on a time from parameters of regulating and external influences, accordingly, that is velocities of a modification of parameters;  $\int x dt$  and  $\int v dt$ , integrals on a time from parameters of regulating and external influences, that is the accumulated modifications of parameters.

Automatic-control systems consist of two main bodies: a controlled plant and a controlling system. A controlled plant in our event can be the water supply and sewerage systems, and its separate subsystems, the hydraulic equipment, pipelines, an accessories or their devices (fig. 2).

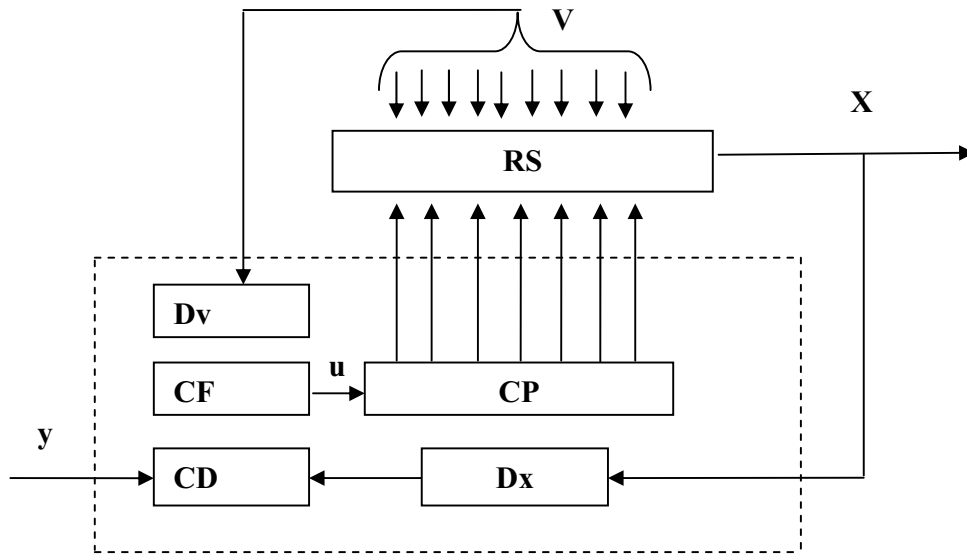


Fig.2. the Control diagram the processes defining reliability of RS:



$v$  - Operating deflexions;  $x$  - an adjustable exit pupil;  $y$  - parameter stipulated THAT;  $u$  - control action;  $D_x$  - the sensing element for exit pupil recording;  $D_v$  - the sensing element for recording of operating deflexions; CD - a comparison device; CF - a converter facility; CP - the control package.

The control of reliability of the water supply and sewerage systems at the stage of projection guesses security of a necessary reliability level by mining of rational structural and constructive schemes, and also separate systems; determination and security of inter element couplings and systems, including exterior. At projection account of a complex of parameters of the water supply and sewerage systems and determination of ratios between them, justification of operating duties of operation, a possibility of monitoring, regulating, control in all parameters which define reliability, and also a justification of systems of mechanical services, repair and maintainability are executed.

Engineering implementation of resorts of security and control of reliability of the water supply system and the outfall can be various.

Supplying subsystems can be implemented injection in system of secondary members or connections which can operate:

Constantly during the work of the water supply and sewerage systems

Periodically they are put into work automatically by the subsystems which are a part of the water supply system and the outfall which change its structure, adjust, cancel, turn out or remove a load part at excess of a tolerance level by it;

They put are into work periodically by operator-diagnostician systems and the subsystems supplying control by reliability of the water supply and sewerage systems including of the person.

### STRUCTURAL AND TEMPORAL REDUNDANCY

The structural and temporal redundancy inducted into system components of the water supply and sewerage systems for the purpose of security of reliability has two types:

- If it is not affect the basic solutions accepted at synthesis of a main system, that is at an invariable method of performance, structure and character of its constituent parts;
- If it leads to a basic change of structure and principles of performance of separate parts of a main system and of the whole developed system.

The simple redundancy of devices and subsystems with their automatic connection can be an instance of the first type of structural redundancy. For example, binding disposition of cross connections with shut accessories on pipelines, application not less than two pressure-tight and inlet manifolds on pumping stations. An installation not less than two working pumps and one or two backup, application not less than two pressure tunnels

and sewers for water delivery and a tap of drainages, use not less than two structures of refining, both water, and a sewage liquid. Application not less than two radiants of water diversion, security of an additional moisture reserve, at the expense of availability not less than two clear-water basins, etc.

The second type guesses constructive and the structural alterations inducted in the form of redundancy in system of reliability for the purpose of security of demanded quality of giving of services. For example, injection of breakage of a stream in systems where additional hydraulic loads are possible at concealment shut accessories with possible regimes of a hydraulic impact in a net. So, for security of the complete correspondence of a water consumption and water delivery by a pumping station of the second ascending gradient frequently it is not always granted possible. Therefore for trusty security of water supply to users, water supply regulation and consumption apply the capacity structures to security of a store and a water storage. Controlling capacity structures on a net allow to supply a controlled regime of their filling and dump within days and submission, in the final reckoning, to a problem of maintenance of pressures in a net in predetermined thresholds, supplying thus absence of accidents in-process the water supply system and reliability of water feed to users.

### SYSTEM OF PREVENTIVE-MAINTENANCE OVERHAULS

The quality of the water supply and sewerage systems depends on the reliability of operation of its structures as a whole. The important fact of reliability is the water supply and sewerage systems life cycle. Now there is no sufficient statistical material on domestic water supply systems on which base it would be possible to install numerical ratios of such agency. However foreign data testify, that the more working lifespan of the systems is, the more high level of magnitude of damageability, failure, non reparability. It is caused by an ageing as water feed systems as a whole, and its separate devices. The range of items and the equipment, applied to the water supply as a rule and the sewerage system, is extremely diverse: pipes, pump units, electro motors, electrics, various sorts of a network accessories, control and measuring and other gears, resorts of automation, computing machinery and the others.

It is obvious, that the ageing of the indicated items and the equipment is imminent, and process of an ageing (deterioration) happens according to some common regularity for all transferred devices. In a cut-in after putting in operation of a fault of devices are watched rather often: the admitted imperfections affect at their mounting and starting, a device' adaptiveness to operation normal conditions. Then there is a period of a stable operation phase, when faults are rare. At last, phase of heightened frequency of faults (outcome of an ageing), completed by approach of the limiting state

starts to be watched. To this phase devices should be in time substituted.

For the forestalling of deterioration of structures and the equipment, accident precaution, duly substitution of the devices which have served the rated time, security of fail-safe operation of the water supply system and a tap of drainages, and also quality of giving of services is applied system of preventive-maintenance overhauls (PMO).

System PMO includes organizational-engineering measures for supervision and care of structures and all sorts of the repair, realised periodically under in advance made plot. The order and times of conducting PMO regulate operating instructions and matching rules about conducting PMO.

One of perspective paths of system development of the preventive-maintenance overhauls, allowing on the basis of the account of actual availability index of product of the concrete water supply system to divide out an amount unscheduled and to refine use of an operational life of its devices, application of methods and monitoring aids of availability index of product and diagnosing which precedes mechanical services fulfilment is, and its outcomes serve for definition of the enumeration and volume of forthcoming operations.

### THE WATER SUPPLY AND SEWERAGE SYSTEMS DIAGNOSING

Diagnosis executes three trial functions:

- Data acquisition about availability index of product of the water supply and sewerage systems, their knots and assembly units;

- Machining and the analysis of these data;

- Preparation or decision making about volumes and times of conducting of mechanical services or repair.

The effective valuation of availability index of product of the water supply and sewerage systems is executed at the solution of primal problems of diagnosing:

- To a functional test;

- Searching, localisation of imperfections and derangements;

- Data acquisition for prediction of the residual operational life;

- To statement of the diagnosis and preparation (adoption) of the solution on control of availability index of product of cars.

The developments in the field of engineering diagnosis of hydraulic systems are directed now on the solution of the indicated problems. The major attention is on making of progressive methods, and perfecting of diagnostics tools simultaneously with the continuous raise of level of testability assembly units of reliability of systems.

The water supply and sewerage systems diagnosing can be conducted on a various step on levels:

- 1 level - definition of the functional service capability of the water supply system as a whole;

- 2 level - definition of parametric service capability;

- 3 level - definition of the functional failures of devices;

- 4 level - definition of parametric failures of devices;

- 5 level - definition of causes of a failure of a device;

- 6 level - definition of concrete magnitude of failure.

Amount of possible states from nominal to a maximum value of diagnostic parameter which can be discriminated by means of a gear:

$$N_j = \frac{X_{npj} - X_{nj}}{\Delta X} \quad (2)$$

Where:  $N$  - an amount of possible states;  $X_{npj}$  и  $X_{nj}$  - the limiting and nominal parameter values for  $j$  devices;  $\Delta X$  a-receptiveness for measuring of the given parameter.

Taking the logarithm  $N$  on the base 2 we will gain an amount of information in bats about a state  $j$  devices:

$$I_j = \log_2 N_j = \log_2 \left[ \frac{X_{npj} - X_{nj}}{\Delta X} \right] \quad (3)$$

The net information on each level size up by formula:

$$I_i = \sum_{z=1}^l \left\{ \sum_{j=1}^m K_j \cdot \log_2 \left[ \frac{(X_{npj} - X_{nj})}{\Delta X} \right] \right\} \quad (4)$$

Where  $I_i$  - an amount of information on  $i$  to level;  $z$  - number of the parameters metered at the accepted method of diagnosing;  $K_j$  - an amount of  $j$  devices in system.

The complete diagnostic information on system will develop of the information on levels:

$$I_{\Sigma} = \sum_{i=1}^6 I_i \quad (5)$$

The comparison by the given measure has displayed, that the greatest amount of information for the standard module of hydraulic systems is gained by means of the gears implementing a statparametric method, which switches on flow sensors, pressure sensors and temperatures, and a control device with a known water resistance. Such type of equipment as of today is the most suitable in the capacity of base for making of an overall system of diagnosis of assembly units of pumping stations of the water supply and sewerage systems.

Effective method of detection of places of derangements in hydromechanical systems is local diagnosing with division of system into subsystems for which there is a diagnostic information on associations. At local diagnosing was possibly check of assembly units of system without their disassembling and removal. At preparation of conducting of local diagnosing:

The enumeration of assembly units of system which will be troubleshot is defined;  
 The sequence of diagnosing of assembly units from the enumeration is installed;  
 The procedure develops and diagnostics tools of assembly units are selected.  
 The enumeration of assembly units of diagnosing of the water supply and sewerage systems is defined on assay values of operation failures and derangements of a water distribution system and water removal, and also depending on their schemes and design features. The optimum sequence of diagnosing of assembly units of the water supply system and a tap of drainages is defined from a condition:

$$\bar{T}_1 \cdot P_1 \leq \bar{T}_2 \cdot P_2 \leq \dots \leq \bar{T}_i \cdot P_i \quad (6)$$

where:  $\bar{T}_i$  - the relative complexity of diagnosing of the assembly unit;  $P_i$  - the relative operational life of the assembly unit.

The relative complexity of diagnosing  $i$ -toro of the assembly unit is defined under the ration:

$$\bar{T}_i = \frac{T_i}{T_{\max}} \quad (7)$$

where:  $T_i$  - complexity of diagnosing  $i$ -toro of the assembly unit;  $T_{\max}$  - maximum complexity of diagnosing of the assembly unit from the accepted enumeration.

The relative operational life  $i$ -toro of the assembly unit is defined under the ration:

$$\bar{P}_i = \frac{P_i}{P_{\max}} \quad (8)$$

where:  $P_i$  -  $\gamma\%$  operational life  $i$ -toro of the assembly unit;  $P_{\max}$  - maximum  $\gamma\%$  an operational life of the assembly unit from the accepted enumeration.

The estimation of the relative complexity of diagnosing is defined for each water distribution system and the outfall depending on access to its devices, and also check sorts. Approximately it is possible to consider, that check of assembly units without disassembling of pipelines -  $T = 0,1$ ; connection of gears of diagnosing -  $T = 0,5$ ; check with disassembling of pipelines  $T = 0,6 \dots 1.0$ .

The relative operational life of system components of water supply and tap of drainages is defined on their rating.

After definition of sequence of conducting of diagnosing and sampling of methods and diagnostics tools local diagnosing can be executed. At discovery of the first defective device yield its substitution or repair, with the subsequent diagnosing. In an event if the water supply and sewerage systems start to work properly, the diagnosing should be completed.

## CONCLUSIONS

One of key parameters of the water supply and sewerage systems quality is their reliability. Therefore for security, control and martempering of quality of the water supply system and a tap of drainages are necessary objective measuring methods and controls of reliability and its components.

Depending on availability and character of initial data quality control and reliability of the water supply and sewerage systems can be determined, stochastic and adaptive. Two first types of control guess availability of the equations of installations of control and negative impacts or control routines of a various sort. In an event when the indicated premises are unknown, apply an adaptive technique. The probabilistic approach of iterated methods is thus used. At a problem solving of control of reliability of the water supply system known research techniques of processes, self-acting, adaptive, a hierarchical control can be used.

The algorithm of searching of derangements of assembly units of the water supply and sewerage systems are offered at local diagnosing which allows to lower complexity of operations on their discovery, and also on a discovery time.

## REFERENCES

1. Association of a water and sewage utilities of Ukraine. Concerning a state and problems of functioning of a water and sewage utilities of Ukraine by activity conclusions in 2006-2007//the Bulletin of Academy of building of Ukraine. - Kiev: АБУ. - 2008, № 18. - With. 183 - 189.
2. Nikolenko I.V., Boych S.D., Valkina E.M., 2008. Ways of rise of reliability of pumping stations of water distribution systems.//Building and technogenic safety. The collector of proceedings NAPKS. - Simferopol, 2008. - Extension 26. - With. 98 - 104.
3. Saliev E.I., 2010. Ekological and economic problems of power-saving technologies in Ukraine.//TEKA. Kom. Mot. Entrg. Roln. - OL PAN, 10 333-339.
4. Bogdan N.V., Kishkevich P.N., Shevchenko B.C., 2001. Gidropnevmo-automatics and a hydraulic drive of transportable computers. Exploitation and reliability of hydropneumatic systems. - 396 with.
5. Birger I.A., 1978. Eginering preliminary treatment. M: Engineering industry, - 278 with.
6. Nikolenko I.V., 1995. Path of rise of exploitational reliability of aggregates of a hydraulic drive//Perfecting

and rise of effectiveness of usage of mechanical aids: the Collector of proceedings / Odessa: OSHI. - 65-69.

7. Abramov N.N., 1982. Water facilities- M: Stroyizdat, 68.

8. Selivanov A.S., 2004. The development of models of functional and structural preliminary treatment by optimisation of supply systems and water allocations. The thesis abstract on competition of a scientific degree a Cand.Tech.Sci. – Petrozavodsk.

9. Machogonov V., 1972. The research of reliability of water systems. The thesis abstract on competition of a scientific degree a Cand.Tech.Sci. -MISI: with.-175.

10. Petrosov V. A., 2011. An idealised justification and development of methods of an intensification of activity of water distribution systems. The thesis abstract on competition of a scientific degree of a Dr.Sci.Tech. – Kharkiv.

11. Tkachuk O. A., 2007. Structurally functional perfection of supply systems and water distribution. The thesis abstract on scientific degree competition of a doctor of engineering science. – Rivne.

12. Naymanov A.Y., Gosteva J.V., 2010. Quality index of functioning of water distribution systems and the sewerage. - Engineering systems and technogenic safety. Extension -6 (86).

13. Saliyev E.I., 2008. The mechanisms of realization of a state policy in a water facilities sphere in the Autonomous Republic Crimea. The thesis abstract on scientific degree competition candidate of government management sciences. – Kiev.

14. Ochrimyuk B.F., 1999. The water removal and refinement of sewage. Part 1. Water boundaries of facility: the manual / B.F., Ochrimyuk; under common edition. A.I. Matsnyeva; Rivne. Gov. Engineering university – Rivne.

15. Water facilities and water removal problems: Informational-analytical collection. Governmental academy of housing and communal services of the State committee of Ukraine concerning housing and communal services. - Kiev, 2003.

16. Volkova P. N., 1975. Maintainability of computers. – Moscow.

17. ENVER SALIEV, ILIJA NIKOLENKO, 2012. The FEASIBILITY REPORT on MAINTAINABILITY of the WATER SUPPLY And SEWERAGE SYSTEM// MOTROL, VOL.14, №5 – 119-123// LUBLIN-RZESZOW.

18. Epoyan S., Syrovatskiy A., Karagyar A., Babenko S., 2012. The increase of the work effectiveness of thin-layer settler // MOTROL, VOL.14, № 6 – 247-250// LUBLIN-RZESZOW (on Russian)

19. Saliev E., Stepatsova N., 2012. Analysis of wear engineering of water-supply and sewerage system // MOTROL, VOL.14, № 6 – 251-254// LUBLIN-RZESZOW (on Russian).

### НАДЕЖНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

В статье раскрыто свойство надежности, как базового элемента качества системы водоснабжения. Приведены главные аспекты надежности. Рассмотрены направления обеспечения надежности, структурное обеспечение надежности, управление надежностью. Освещены структурная и временная избыточность обеспечения надежности, планово-предупредительная система и диагностика системы водоснабжения и водоотведения. Приведено свойство ремонтпригодности, как одного из слагаемых надежности.

**Ключевые слова:** система водоснабжения и водоотведения, надежность, качество, техническое состояние, ремонтпригодность, обслуживание, ремонт, эксплуатация

## АНАЛИЗ НЕУЧТЕННЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ В СИСТЕМЕ ВОДООТВЕДЕНИЯ

Людмила Зайченко, Вячеслав Лесной, Артур Попов

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры  
Адрес: Украина, Донецкая обл., г. Макеевка, ул. Державина, 2  
e-mail: ljusik@matrixhome.net

**Аннотация.** Разработана методика определения неучтенных расходов в системе водоотведения. Объективная оценка этих расходов позволит экономически обоснованно назначать тарифы на услуги водоснабжения и водоотведения, проводить целенаправленную работу по ресурсосбережению на предприятиях водопроводно-канализационного хозяйства.

**Ключевые слова:** неучтенный расход сточных вод, технологический норматив, система водоотведения

- повышение эффективности использования энергетических и материальных ресурсов;
- сокращение непроизводственных потерь воды;
- улучшение качества очистки воды и стоков;

### ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование и развитие водопроводно-канализационных систем – ключевых элементов жилищно-коммунального хозяйства, направлено на решение одной из важнейших социальных проблем – обеспечение потребителей услугами водоснабжения и водоотведения в достаточном количестве с высоким качеством. Эффективное функционирование отрасли возможно только при оптимальных, экономически обоснованных тарифах, обеспечивающих безубыточное функционирование предприятий водопроводно-канализационного комплекса.

Современное состояние водопроводно-канализационного хозяйства продолжает оставаться неудовлетворительным, что требует разработки и внедрения системы разноплановых мероприятий по его совершенствованию. Это обусловлено следующими факторами [7,13]:

- прогрессирующей тенденцией к ухудшению уровня предлагаемых потребителям услуг водоснабжения и водоотведения;
- повышением аварийности водопроводов и канализационных коллекторов;
- тяжелым финансово-экономическим состоянием предприятий водопроводно-канализационного хозяйства.

Коммунальные предприятия ставят перед собой цель – удовлетворить потребности всех жителей в получении доступных услуг по водоснабжению и водоотведению на надлежащем уровне и по своему качеству постепенно приближаться к стандартам ЕС.

Основными направлениями развития водопроводно-канализационного хозяйства могут быть приняты следующие:

- экономия водных ресурсов;
- повышение надежности работы систем;

- внедрение прозрачной, экономически обоснованной системы ценообразования на услуги водоснабжения и водоотведения.

Все перечисленные направления связаны между собой, и выполнение мероприятий по одному из них прямо влияет на ситуацию других. Например, замена изношенных трубопроводов кроме главной задачи – сокращения непроизводственных потерь воды, способствует повышению надежности работы системы, уменьшению затрат электроэнергии, экономии водных ресурсов, улучшению качества воды. Замена устаревшего или несоответствующего требуемым параметрам насосного оборудования на современное, обеспечивает не только оптимальные расходы и давление в системе, уменьшает энергозатраты, но и приводит к сокращению утечек.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В условиях реформирования ЖКХ особую актуальность приобретают вопросы определения неучтенных расходов водопотребления и водоотведения. Эти расходы оказывают влияние на себестоимость услуг предприятий водопроводно-канализационного хозяйства.

Неучтенные расходы системы водоотведения – это разность между всем объемом поступающих стоков в систему коммунального водоотведения и оплаченным объемом сточных вод, принятых от абонентов.

Неучтенные расходы сточных вод на канализационных сетях можно классифицировать по следующим группам [10,12]:

- стоки, образующиеся в результате производственной деятельности предприятий водопроводно-канализационного хозяйства;

- дополнительные стоки от превышения фактического удельного водопотребления над нормативным;

- стоки от инфильтрации грунтовых, атмосферных и дренажных вод из систем холодного и горячего водоснабжения в результате скрытых утечек и негерметичности канализационных сетей (инфильтрационные воды).

Превышение фактического объема поступления стоков над оплаченными объемами составляет обычно 25-40 % общих стоков. В результате водоканалы вынуждены нести дополнительные затраты на транспортировку, перекачку сточных вод, включая расходы электроэнергии.

Кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры (ДонНАСА) выполнен договор с КП «Донецкгорводоканал», предметом которого является обоснование разницы реализуемых объемов сточных вод от фактических, которые попадают на донецкие очистные сооружения [5].

Целью данной работы является:

- установление возможных причин, которые могут вызвать данную разницу в объемах поступивших и реализованных сточных вод;

- определение согласно существующих методик расчета количества неучтенных сточных вод, которые могут поступать дополнительно на очистные сооружения;

- рассмотрение мероприятий, которые могут помочь зафиксировать источники и объемы дополнительного притока сточных вод на очистные сооружения, а также устранить или поставить их на учет в балансовую схему донецкого городского водоканала.

Услугами централизованного водоотведения в Донецкой области пользуется население 52 городов (100 %), 52 поселков городского типа (39,7 %) и 50 сельских населенных пунктов (4,5 %). В области насчитывается 124 системы канализации с установленной пропускной производительностью 1771,20 тыс. м<sup>3</sup>/сутки.

Установленная пропускная мощность очистных сооружений 1754,70 тыс. м<sup>3</sup>/сутки (640,47 млн. м<sup>3</sup>/год). В целом по области жилищный

фонд оборудован системами централизованного водоотведения на 70,9 %. Среднее удельное водоотведение по области составило 110 л/сутки на человека [6].

Большая часть существующих очистных сооружений хозяйственно-бытовой канализации и канализационных сетей эксплуатируются свыше 30-50 лет, находятся в неудовлетворительном техническом состоянии, работают неэффективно. Очистные сооружения нуждаются в проведении капитального ремонта и реконструкции [11,16].

В систему хозяйственно-бытовой канализации поступает значительный объем атмосферных и дренажных вод, которые вызывают гидравлические перегрузки канализационных сетей. Кроме того, неучтенные сточные воды, разбавляя бытовой сток, ухудшают процессы биологической очистки на канализационных очистных сооружениях [8,14].

Из-за отсутствия в настоящее время методических указаний и инструкций по оценке неучтенных расходов сточных вод невозможно объективно определить их объемы и исключить из лимитов водоотведения.

## ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Донецкий городской водоканал в 2012 году реализовал сточные воды в объеме 57,2 млн. м<sup>3</sup> в год. Однако, на донецкие городские канализационные очистные сооружения за этот же период времени поступил объем воды, превышающий реализацию на 32,1%.

Отмечается дисбаланс между количеством реализованных стоков (оплаченных) и поступающих в систему водоотведения.

Существует несколько процессов, которые способны влиять на баланс воды в водопроводно-канализационном хозяйстве донецкого городского водоканала. Рассмотрены основные причины, обуславливающие разницу объемов сточных вод реализованных и поступивших на донецкие очистные сооружения.

Одной из наиболее важных причин является попадание части атмосферных осадков в хозяйственно-бытовую канализационную сеть донецкого городского водоканала.

Согласно "Правилам пользования системами централизованного коммунального водоснабжения и водоотведения в населенных пунктах Украины" [1-3] среднегодовой объем поверхностных сточных вод, образующихся вследствие выпадения атмосферных осадков, снеготаяния и осуществления поливочно-моечных работ дорожных покрытий, и неорганизованно попадающих в сети водоотведения, в том числе при раздельной системе водоотведения, определяется по формуле:

$$O_P = O_D + O_C + O_{ПМ} \quad (1)$$

где  $O_D$  - среднегодовой объем дождей вод, м<sup>3</sup>;

$O_C$  - среднегодовой объем талых вод, м<sup>3</sup>;

$O_{ПМ}$  - среднегодовой объем поливомоечных вод, м<sup>3</sup>.

Среднегодовой объем дождей ( $O_D$ ) и талых ( $O_C$ ) вод, стекающих с сельских территорий и промышленных площадок, определяется по формулам:

$$O_D = 10 h_d k_d F_d \quad (2)$$

$$O_C = 10 h_c k_c F_c \quad (3)$$

где  $F$  - общая площадь стока, га;

$h_d$  - слой осадков за теплый период года, мм;

$h_c$  - слой осадков за холодный период года, мм (определяет общее годовое количество талых вод) или запас воды в снежном покрове к началу снеготаяния;

$k_d$  - общий коэффициент стока дождей вод;

$k_c$  - общий коэффициент стока талых вод, принимается  $k_c = 0,6$ .

Общий годовой объем поливомоечных вод, стекающих с площади стока, определяется по формуле:

$$O_{ПМ} = 10 m p F_{ПМ} k_{ПМ} \quad (4)$$

где  $m$  - удельный расход воды на мойку дорожных покрытий, принимается 1,35 л/м<sup>2</sup> на одну мойку;

$p$  - среднее количество моек в году, принимается  $p = 150$ ;

$F_{ПМ}$  - площадь твердых покрытий, подвергающихся мойке, га;

$k_{ПМ}$  - коэффициент стока для поливомоечных вод, принимается  $k_{ПМ} = 0,5$ .

Общий коэффициент стока дождей вод  $k_d$ , определяется как средневзвешенная величина отдельных значений коэффициента стока, для

площадей стока с разным видом поверхности [4], определяется по формуле:

$$k_d = \frac{\sum_{i=1}^n (k_{d_i} \cdot F_i)}{\sum_{i=1}^n F_i} \quad (5)$$

где  $k_{d_i}$  - коэффициент стока дождей вод  $i$ -ого покрытия территории;

$F_i$  - площадь поверхности  $i$ -ого покрытия территории, га;

$n$  - число покрытий территории.

Объем воды от атмосферных осадков и поливочно-моечных работ дорожных покрытий, попадающий в хозяйственно-бытовую канализационную сеть городского водоканала составляет 33 % от общего расхода.

При расчете тарифов фактически не учитывается попадание в канализационную сеть питьевой воды (2) некоторых технологических процессов (3). Например, сброс питьевой воды в канализационную сеть города при ремонте (опорожнении), хлорировании, промывке водопроводных сетей. Также следует учесть технологические процессы, которые образуют дополнительные сточные воды на вспомогательных объектах водопроводного хозяйства.

К неучтенным потерям питьевой воды, которая попадет в канализационную сеть, можно отнести внутриквартирные утечки, связанные с неполным закрытием водоразборной арматуры или заполнением смывных бачков на максимальных уровнях поплавкового клапана. Минимальные потери из (4) неисправных водоразборных кранов и смесителей составляют 1,7 литров в час, или 15 м куб. в год. Потери, связанные с неисправными смывными бачками при утечке 8 литров в час составляют 184 м куб. в год. Принимая, что от 10 до 15 % жителей имеют неисправные сантехнические приборы, данный вид потерь может достигать 540 тыс. м куб. в месяц. Был проведен анализ водопотребления лицевого счета с установленными квартирными водомерами. В результате большинство установленных в квартирах счетчиков обладают классом точности "А", т.е. с порогом чувствительности 30 литров в час. В

противоположность, в странах Западной Европы установлены приборы учета с классом точности "С" с порогом чувствительности 10 литров в час [9,15,17]. В данном случае потери вызваны тем, что водомер не считает объемов воды при расходах, меньших его минимального предела. Перерасход питьевой воды относительно нормируемой величины приводит к поступлению дополнительных сточных вод и увеличению гидравлической нагрузки на канализационные сети. При этом дополнительные сточные воды не учитываются при оплате услуг водоснабжения и канализации.

На разницу объемов сточных вод, поступивших на очистные сооружения и оплаченных населением, значительно может влиять следующий фактор. Некоторые предприятия, находящиеся на территории г. Донецка, используют другие источники водоснабжения, в том числе альтернативные (скважины, ставки, пруды и пр.). Например, питьевую и (или) техническую воду промышленное предприятие получает от коммунального предприятия «КП «Вода Донбасса» или другого населенного пункта, а сточные воды сбрасываются в сеть Донецкого городского водоканала. Также причиной может быть то, что увеличилось потребление населением города бутилированной воды, привозимой из других городов, областей, стран. В этот ряд можно отнести потребление минеральной воды, соков, напитков, пива и др.

Часть жителей города Донецка проживают в неканализованных районах и при этом пользуются услугами водоснабжения. Таким образом, данные

абоненты платят только за объемы потребленной питьевой воды, а сточные воды собираются в выгребных ямах и должны периодически вывозиться специальными машинами на очистные сооружения или специальные пункты приема сточных вод. Однако существует высокая вероятность того, что стоки из выгребных ям сбрасываются в ближайшие канализационные колодцы. При этом имеет место несколько нарушений:

- не производится учет сточных вод, подлежащих очистке;
- не контролируется качество стоков;
- за сточные воды, попадающие на ДОС таким образом, не производится оплата водоканалу в фактическом их объеме;
- нарушается работа сетей канализации;
- сброс стоков в обычные колодцы может привести к разрушению элементов колодцев или трубопроводов.

Следует отметить, что помимо населения города услугами вывоза стоков пользуются другие абоненты Донецкого городского водоканала: рестораны, кафе, минигостиницы и др. Такие абоненты заинтересованы в более частой периодичности вывоза стоков и в большем объеме, чем население города. Поэтому они могут пользоваться услугами сторонних организаций для вывоза сточных вод, которые, в свою очередь, заинтересованы в том, чтобы сбрасывать сточные воды в канализационную сеть Донецкого городского водоканала нелегально.



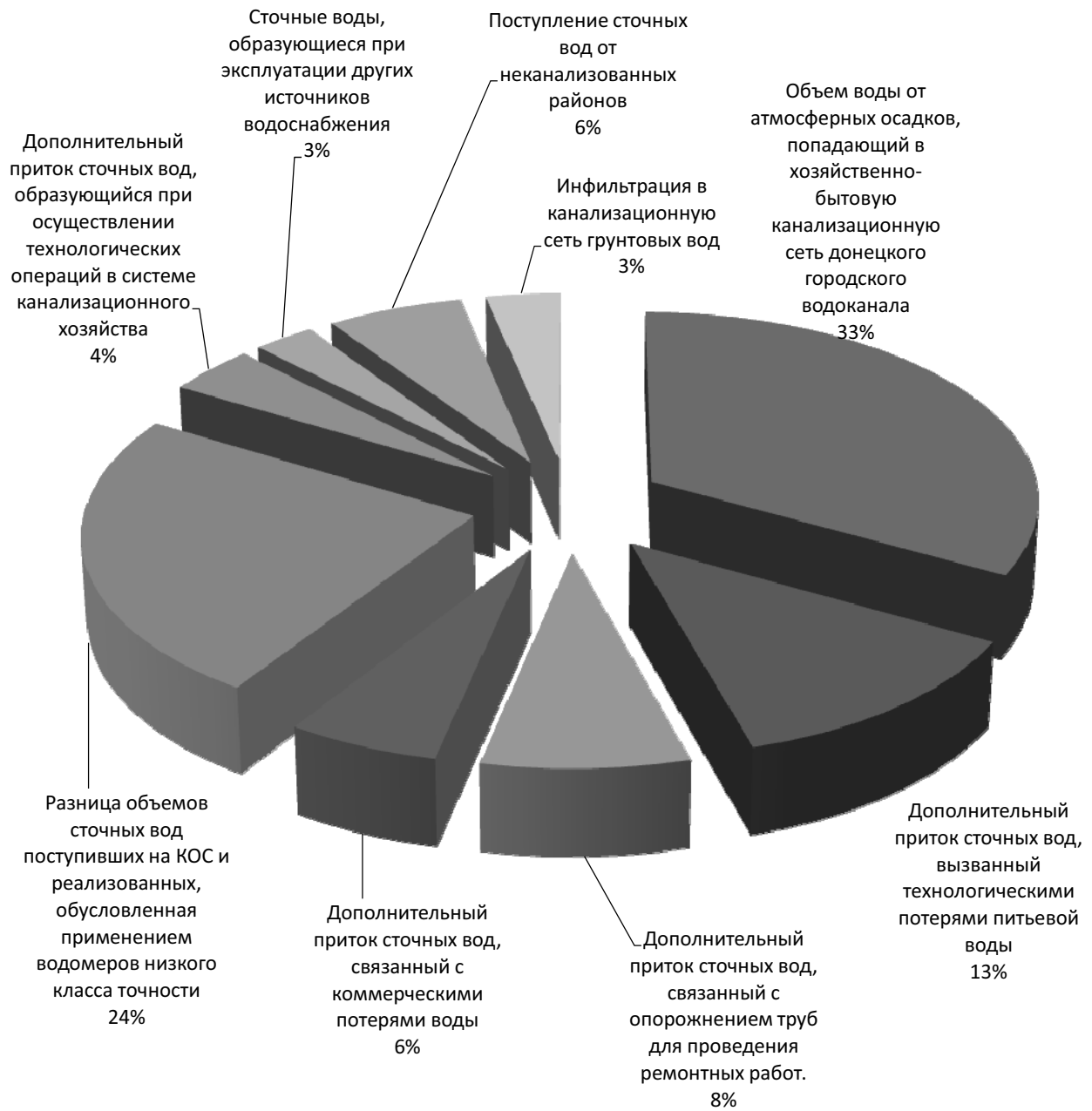


Рис. 1. Количество вод, которое может поступать дополнительно на канализационные очистные сооружения

Fig. 1. The amount of water that can be supplied in addition to the wastewater treatment plant

В связи с закрытием многих шахт г. Донецка, прекратилась откачка шахтных вод, что приводит к увеличению уровня грунтовых вод и даже к заболачиванию ближайших территорий и выходу вод на поверхность. Канализационные сети города не были рассчитаны и, следовательно, оказались не готовы к появлению грунтовых вод, в результате чего за счет инфильтрации поступает дополнительный объем воды в сеть хозяйственно-бытовой канализации.

Количество сточных вод, которое может поступать дополнительно на канализационные очистные сооружения, показано на диаграмме 1.

По результатам расчетов поступления дополнительных стоков в систему канализации г. Донецка разработана комплексная программа по сокращению неучтенных расходов. Для этого необходимо:

- провести мониторинг системы транспортирования сточных вод на очистные сооружения;

- установить приборы учета на основных коллекторах и напорных канализационных сетях;

- осуществить капитальный ремонт канализационных камер и колодцев с заменой железобетонных крышек, установленных на люки хозяйственно-бытовой канализации (крышки из железобетона быстро разрушается в связи с высокой агрессивностью выделяемых из сточных вод газов, что приводит к увеличению зазоров между люком и крышкой и, следовательно, к увеличению притока дождевых, талых и поливомоечных вод);

- сократить собственные производственные расходы;

- ввести в эксплуатацию внутриквартирные приборы учета высокого класса точности.

Все эти мероприятия позволяют снизить материальные издержки горводоканала, связанные с сокращением неучтенных расходов сточных вод, и должны быть компенсированы через тариф, т.е. учтены при расчете себестоимости. Объективный учет этих расходов в тарифе возможен при наличии четких критериев их определения и научно обоснованной методики расчета.

## ВЫВОДЫ

Установлено значительное несоответствие между фактическим поступлением сточных вод на городские очистные сооружения и оплаченным количеством стоков за счет неучтенных расходов, достигающих 32 % от общего расхода.

С целью сокращения неучтенных расходов сточных вод предложены нормативно-технические рекомендации по их оценке.

Разработанные рекомендации по оценке неучтенных расходов системы водоотведения позволяют более обоснованно определять финансово-экономическую политику предприятий ВКХ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Галузеві технологічні нормативи використання питної води на підприємствах водопровідно-каналізаційного департаменту України. - Затв. Наказом Держжитлокомунгоспу України від 17.02.04 р. №33. - Зареєстр. Мінюстом України 7.12.04 р. за № 1557/10156.
2. Приказ Министерства по вопросам жилищно-коммунального хозяйства Украины от 27.06.2008 г. №190
3. Приказ Министерства регионального развития, строительства и жилищно-коммунального хозяйства Украины от 27.03.2012 г. №131; 24.10.2012 г. № 541
4. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. Госстрой СССР. - М.: Стройиздат. - 1986.
5. Отчет по научно-исследовательской работе "Обоснование разницы реализуемых объемов сточных вод от фактических, которые попадают на донецкие очистные сооружения" – Макеевка, 2013.
6. Зайченко Л., Нездойминов В., Задорожная Е. 2012. Проблемы централизованного и муниципального водоснабжения в Донецком регионе.// MOTROL. - Vol.14, No 6, 57-63.
7. Кравченко В.А. 2008. Основные подходы в решении проблем реформирования и развития предприятий водопроводно-канализационного хозяйства Украины.// Водопостачання та водовідведення. - №1, 35-39.
8. Гоухберг М.С., Медведев Г.П., Алексеев М.И. 1997. Проблемы отведения и очистки поверхностного стока в Санкт-Петербурге.// Водоснабжение и санитарная техника. - № 1, 29-21.
9. Маслак В.Н. 2008. Потери воды в системах водоснабжения и борьба с ними.// Водопостачання та водовідведення. - №1, 28-34.
10. Лернер А.Д. 2005. Неучтенные расходы в системах коммунального водоснабжения и водоотведения.// Водоснабжение и санитарная техника. - № 4, 9-12.
11. Нездойминов В., Чернышев В. 2010. Новая экологически безопасная технология утилизации осадков.// MOTROL. — №13С, 17-23.
12. Лернер А.Д., Домнин К.В., Бойко С.В., Кочетова М.Г. 2012. Проблемы обоснования величин неучтенных расходов воды в системах водоснабжения и водоотведения.// Водоснабжение и санитарная техника. - № 4, 64-70.
13. Салиев Э., Степанцова Н. 2012. Анализ износа инженерных сетей водоснабжения и водоотведения г. Красноперекопска.// MOTROL. - Vol.14, No 6, 251-255.
14. Багаев Ю.Г., Валуйских И.В., Шамара О.В. 2004. Расчет объемов дренажных, ливневых и

- талых вод, поступающих в городскую канализацию.// Водоснабжение и санитарная техника. - № 3, 9-12.
15. Зайченко Л.Г., Синезук И.Б. 2010. Расчет технологического норматива использования питьевой воды на примере работы предприятия ВКХ. // Науковий вісник будівництва ХДТУБА: Харків. — Вип. № 60, 163-167.
  16. Эпоян С., Атаманчук В., Штонда Ю., Зубко А. 2009. Энергоресурсосбережение при применении современного оборудования и методов для биологической очистки городских сточных вод.// MOTROL. – №11А, 101-107.
  17. Зайченко Л.Г., Гутарова М.Ю. 2012. Сокращение потерь питьевой воды в жилищном фонде. // Науковий вісник будівництва ХТУБА: Харків. — Вип. № 70, 298-301.

#### AN ANALYSIS OF UNACCOUNTED WATER IN THE SEWERAGE SYSTEM

**Abstract.** The methods of determining the unaccounted water in the sewerage system has been developed. An objective assessment of these costs will assign economically to justify tariffs for water and wastewater services, to carry out targeted work on resource companies on water supply and sanitation.

**Key words:** technological standard, technological consumption, systems of water supply.



## КОНЦЕНТРИРУЮЩИЕ УСТАНОВКИ С ДВУМЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ ОТРАЖАТЕЛЯМИ

Светлана Воскресенская

Национальная академия природоохранного и курортного строительства  
Адрес: 95493, Украина, г. Симферополь, ул. Киевская 181, корпус 3, к. 204  
e-mail: [voskres.s@mail.ru](mailto:voskres.s@mail.ru)

**Аннотация.** Исследована зависимость коэффициента концентрации от формы вторичного цилиндрического отражателя и его положения относительно первичного. Дана рекомендация по размещению для обеспечения максимальных выходных параметров. Рассмотрено распределение солнечной энергии по поверхности приемника, так как оно имеет большое значение для применения совместно с солнечной батареей при выработке электрической энергии.

**Ключевые слова:** концентрирующая установка, первичный отражатель, вторичный отражатель, приемник.

### ВВЕДЕНИЕ

Причиной медленного развития солнечной энергетики является малое значение падающего потока энергии – на 3–4 порядка меньше, чем при сжигании химического топлива, а кроме того, непостоянство в зависимости от времени суток, сезона и погоды. Чтобы скомпенсировать эти недостатки, надо собирать солнечный поток с большой площади, применяя различные концентрирующие установки, и запасать энергию на нерабочее время с помощью аккумуляторов. Целесообразность использования солнечного излучения в том или ином районе определяется суммарной энергией, которая поступает на поверхность Земли за определенное время [14]. Среднегодовой поток солнечной радиации на поверхности Земли на широте  $45^\circ$  составляет порядка  $0,4 \text{ кВт/м}^2$  – почти в четыре раза меньше того, что падает на границу атмосферы. Пока что применяют концентрирующие установки удаётся «малой энергетике», предназначенной для питания электроэнергией и теплом отдельных домов, небольших предприятий и поселков. Преобразование солнечного излучения в теплоту невысокого температурного потенциала, достаточного для горячего водоснабжения, отопления, охлаждения воздуха в жилых, общественных и производственных зданиях и сооружениях, является направлением наиболее подготовленным для практического применения среди аспектов солнечной энергетики [6]. Примеры использования концентрирующих установок для индивидуальных потребителей приведены, например, в источниках [1, 12]. В статье [17] приведены солнечные энергетические установки, изготавливаемые промышленно.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Основное функциональное назначение солнечных концентрирующих установок – повышение плотности потока солнечного излучения до уровня, обеспечивающего его эффективное

преобразование в энергию требуемого вида. При этом не только повышается плотность солнечного излучения, но и изменяется его распределение в пространстве [4]. То есть, необходимо четко знать, в какую область поместить приемник, и его размеры, соответственно, которые обеспечат более эффективное преобразование. Концентрация может быть произведена с помощью одного отражателя с однократным или многократным отражением или же с помощью двух. Зеркала конструктивно выполняются в виде непрерывно-гладкой (цельной) поверхности и ступенчато-разрывной (составной). Известно, что цельные зеркала обладают наивысшей энергетической эффективностью. Однако их изготовление, особенно при больших размерах, связано с большими трудностями технического и технологического характера, поэтому цельные зеркала применяются лишь в установках небольшой мощности (диаметром до 3 м) [13]. Применение цельных отражателей разобрано в источниках, например [4, 15]. При этом солнечные лучи один раз или несколько отражаются от одной и той же поверхности и попадают на приемник солнечного излучения. Многократное отражение наблюдается для фоконов и фоклинов, цилиндрических концентраторов с поперечным сечением, выполненным двумя радиусами, когда окружность меньшего радиуса сопрягается с окружностью большего радиуса в плоскости, на которой расположены центры обоих радиусов, перпендикулярной плоскости, воспринимающей солнечное излучение. В данной работе будем рассматривать двукратное отражение (от двух поверхностей одинаковой формы) с применением цельных поверхностей.

В источнике [3] рассмотрено моделирование вторичного отражателя для первичного отражателя известной формы, когда все сконцентрированные лучи должны попасть в одну точку R (рис. 1). На практике решить подобного рода задачу достаточно тяжело, так как необходимо найти последовательный ряд точек  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ , удовлетворяющих требованиям, причем каждая последующая не может быть определена

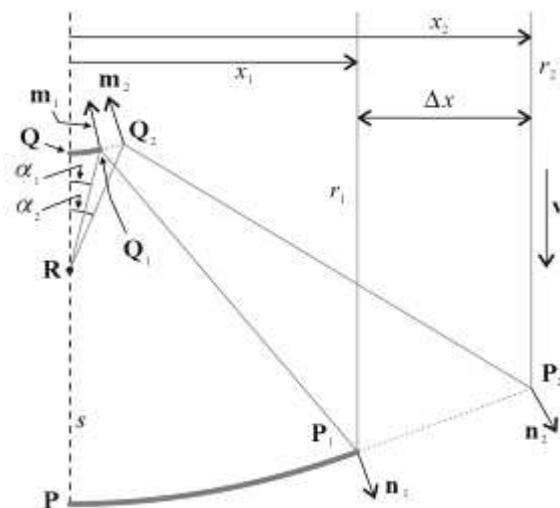


Рис. 1. Построение вторичного отражателя при заданной форме первичного и точке фокусировки R  
 Fig. 1. Construction of the second reflector at the set form of primary and focusing point R

без значения предыдущей. Еще одним недостатком такого метода является то, что не возможно заранее проанализировать, какая часть первичного отражателя будет затенена вторичным. Аналогичный метод моделирования, но приемника, рассмотрен в работе [5]. Преимущество при этом заключается в равномерности распределения солнечных лучей, а недостаток в том, что в качестве второго этапа при моделировании автором предлагается операция сплайн – аппроксимации, необходимая для повышения точности построений и увеличения степени равномерности. Существенным недостатком моделей [3, 5] является то, что последовательное построение ординат точек образующей отражателя создает заметную ошибку в ориентации элементов отражателя. Причем эта ошибка накапливается по мере увеличения числа частей. Эти факторы приводят к невыгодности реализации.

Поэтому в качестве отражателей лучше выбирать известные поверхности, как, например, в работе [2]. Тогда можно проследить направление солнечных лучей и их распределение по приемнику.

### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью работы является моделирование и исследование солнечной концентрирующей установки с двумя отражателями и двукратным отражением лучей. Для случая выработки электрической энергии с помощью фотоэлементов рассматривается распределение солнечной энергии по поверхности приемника.

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Рассмотрим случай, когда концентрирующая установка состоит из двух цилиндрических отражателей с разными радиусами кривизны. Солнечное излучение нормально падает на ее

поверхность. Лучи, отразившись от цилиндрической поверхности с большим радиусом кривизны R, попадают на тыльную часть цилиндрической поверхности меньшего радиуса r, а далее на приемник. Общий вид солнечной концентрирующей установки показан на рис. 2. Моделирование осуществлено в программе Maple.

Разность радиусов кривизны:

$$h = R - r \quad (1)$$

будет совпадать с высотой расположения одного отражателя относительно другого в случае, если центры кривизны совпадают.

Известно, что для цилиндрической поверхности направление отраженных лучей сильно меняется. То есть, излучение, падающее на части концентрирующей установки, удаленные от оптической оси, перенаправляются вниз и попадают на ту часть концентрирующей установки, которая ближе к оптической оси. Это означает, что оно не будет попадать на вторичный отражатель. Поэтому необходимо использовать только часть поверхности, выбираемую из следующих предпосылок. Если солнечный луч падает в точку  $A(x_1; y_1)$ , а угол наклона нормали к оси, перпендикулярной оптической, обозначить  $\beta$ , то угол наклона отраженного луча к той же оси  $2 \cdot \beta - 90^\circ$ , причем он должен быть меньше или равен нулю, чтобы не поменялся знак угла и отраженный луч был направлен вверх, а не вниз (отражение от поверхности с большим радиусом было однократным). Запишем условие в виде неравенства:

$$2 \cdot \beta - 90^\circ = 2 \cdot \arctg \left( \frac{\sqrt{R^2 - x_1^2}}{x_1} \right) - 90^\circ \leq 0. \quad (2)$$

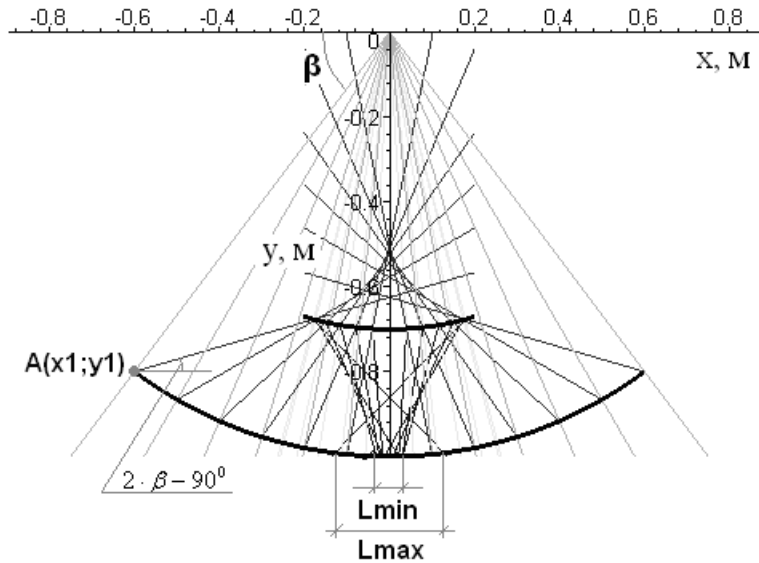


Рис. 2. Солнечная концентрирующая установка с двумя цилиндрическими отражателями  
 Fig. 2. Sun concentrating setting with two cylindrical reflectors

Результатом решения (2) будет:

$$x_1 \leq \frac{R}{\sqrt{2}}. \quad (3)$$

На основании вышесказанного и выражения (3) можно заключить следующее.

*Утверждение:* вторичный цилиндрический отражатель солнечной концентрирующей установки должен располагаться таким образом, чтобы его нижняя точка совпала с точкой с координатами  $(0; \frac{R}{\sqrt{2}})$ , а радиус кривизны окружности был равен  $\frac{R}{\sqrt{2}}$  для случая, когда центры кривизны первичного и вторичного отражателей совпадают.

Основным параметром, характеризующим эффективность работы концентрирующей установки, является коэффициент концентрации  $K$ . Концентратор обладает большой входной площадью апертуры  $A_a$  и малой выходной  $A_m$ . Геометрическое соотношение собирания определяется выражением [16]:

$$K = \frac{A_a}{A_m}. \quad (4)$$

Если длина приемника и отражателей цилиндрической формы совпадает, то формула (4) может быть записана через ширину входной апертуры и приемника.

В качестве доказательства вышеприведенного утверждения найдем коэффициент концентрации  $K$  при  $h = 0,3 \text{ м}$  ( $R = 1 \text{ м}, r = 0,7 \text{ м}$ ) и нескольких других значениях меньше или больше данного,

равного  $h = R - \frac{R}{\sqrt{2}}$  (согласно формуле (1)).

Ширину приемника обозначим  $L$ . Будем рассматривать два случая: когда используется первичный отражатель, задаваемый дугой с координатами  $x$  крайних точек  $-0,6 \text{ м}$  и  $0,6 \text{ м}$ , и когда координаты  $x$  крайних точек  $-0,5 \text{ м}$  и  $0,5 \text{ м}$ . Из рис. 2 видно, что в первом случае ширина приемника больше (обозначим  $L_{\max}$ ), а во втором – меньше ( $L_{\min}$ ). На рис. 3 показан результат сравнения. При меньшей апертуре первичного отражателя можно получить большее значение коэффициента концентрации. Это обусловлено рассеиванием лучей после двухкратного отражения. Максимальное значение при  $h=0,3 \text{ м}$  будет составлять порядка 9,7. При  $h=0,28 \text{ м}$  для  $L_{\max}$  рассеивание настолько значительное, что  $K$  на графике не указано.

Возможно проследить еще одну зависимость, когда точка пересечения вторичного приемника с осью симметрии остается неизменной, а его радиус кривизны принимает различные значения вследствие изменения положения центра кривизны. На рис. 4 показан результат такого моделирования. При использовании части апертуры первичного отражателя, ограниченной координатами  $x$  от  $-0,5 \text{ м}$  до  $0,5 \text{ м}$ , коэффициент концентрации увеличивается по мере уменьшения радиуса кривизны вторичного отражателя. Для максимально возможной апертуры – наоборот.

Технология получения сферы и цилиндрической поверхности проще технологии получения, например, параболоида и параболоцилиндрической поверхности, поэтому достаточно часто применяется первый вариант, хотя с точки зрения фокусировки он дает более размытое

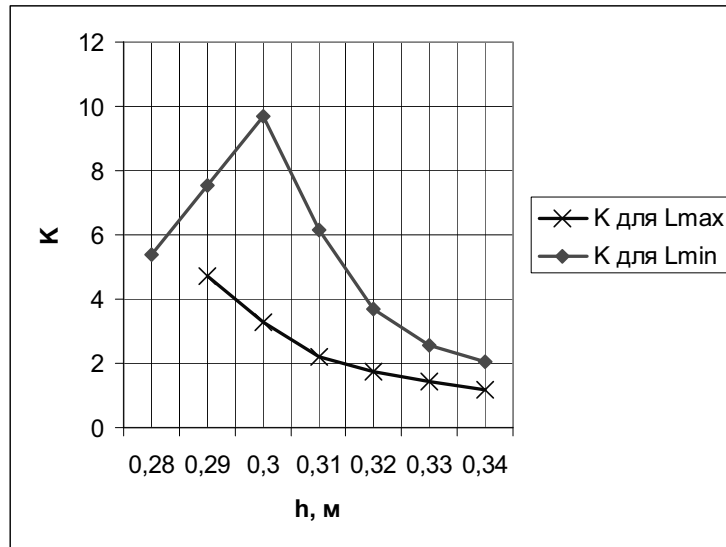


Рис. 3. Изменение коэффициента концентрации при перемещении вторичного отражателя  
Fig. 3. Change of coefficient a concentration K at moving of the second reflector

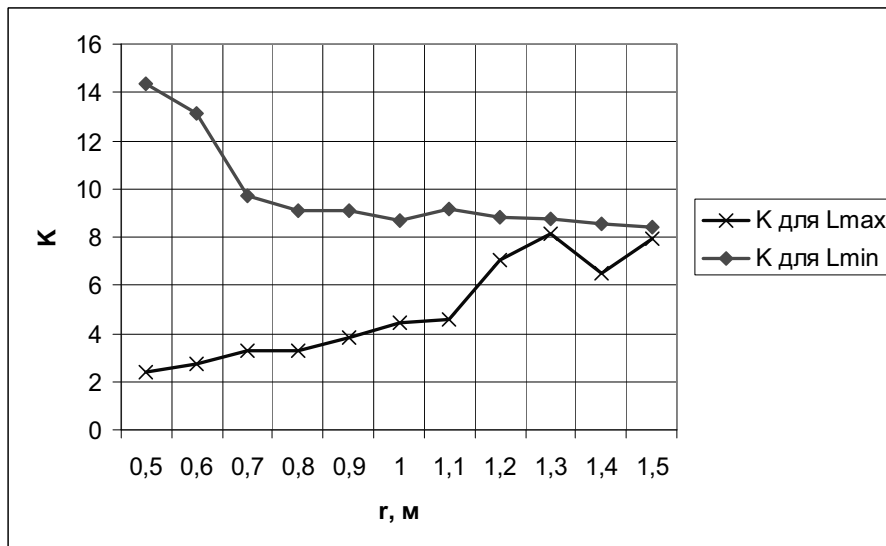


Рис. 4. Зависимость коэффициента концентрации K от изменения радиуса кривизны вторичного отражателя  
Fig. 4. Dependence of coefficient of the concentration K from the change of radius of curvature of the second reflector

фокальное изображение вследствие аберраций, что снижает достижимую максимальную температуру. Однако на практике этим недостатком в большинстве случаев можно пренебречь [11].

Поэтому рассмотрим также солнечную концентрирующую установку с цилиндрическими отражателями с сечениями в виде части эллипса (рис. 5). При построениях первичного отражателя задаются следующие параметры:  $a$  – расстояние от вершины эллипса до центра координат вдоль оси абсцисс;  $b$  – расстояние от вершины эллипса до центра координат вдоль оси ординат.

Величины  $a$  и  $b$  приняты соответственно 1,3 м и 1 м (рис. 5, а) и наоборот (рис. 5, б).

Вторичный отражатель аналогично построениям для цилиндрических поверхностей

ограничен точками с координатами  $x$  -0,2 м и 0,2 м, для него расстояние от вершины эллипса до центра координат вдоль оси абсцисс и вдоль оси ординат примем:

$$a' = a - h', \quad (5)$$

$$b' = b - h', \quad (6)$$

где  $h'$  – некоторое положительное число, определяемое исходя из заданной ширины вторичного отражателя (0,4 м).

Из рис. 5 можно увидеть, что для второго рассматриваемого случая (рис. 5, б) рассеивание солнечных лучей после вторичного отражения будет более значительным. Причем такое же свойство наблюдается и при других значениях  $a$  и  $b$ , когда



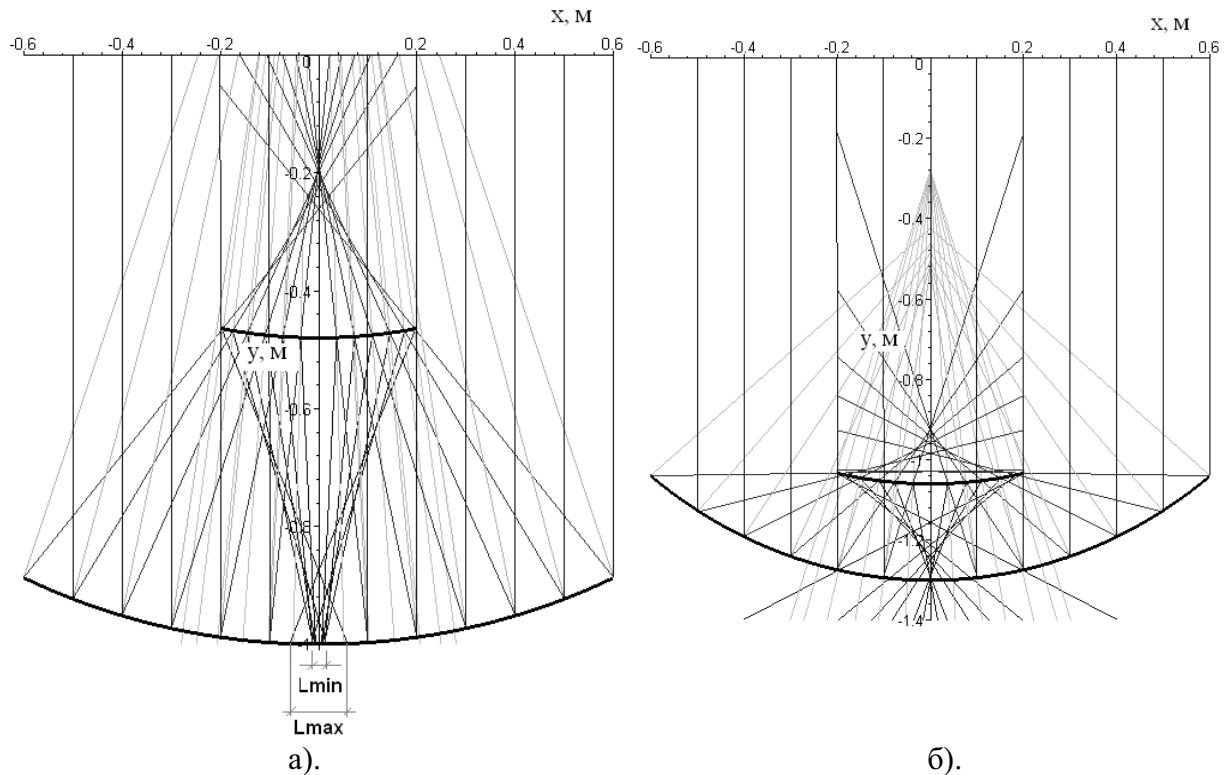


Рис. 5. Солнечная концентрирующая установка с двумя цилиндрическими отражателями с сечениями в виде части эллипса: а). при  $a > b$ ; б). при  $a < b$

Fig. 5. Sun concentrating setting with two cylindrical reflectors with sections as part of ellipse: a). at  $a > b$ ; б). at  $a < b$

$a < b$ . Поэтому далее будем исследовать первый случай (рис. 5, а).

На рис. 6 показан график зависимости коэффициента концентрации  $K$  от радиуса кривизны первичного отражателя, когда  $b$  остается неизменным,  $a$  меняется от 1 м до 1,4 м, а параметры  $a'$  и  $b'$  определяются по выражениям (5) и (6). Можно заметить, что для каждого конкретного случая коэффициент концентрации необходимо вычислять индивидуально, так как для максимально возможной ширины приемника  $L_{\max}$  значения неоднозначно колеблются от 3,74 до 8,24, а для минимально возможной  $L_{\min}$  наблюдаются более значительные колебания от 5,88 до 19,2.

На рис. 7 показана зависимость коэффициента концентрации  $K$  от параметров вторичного отражателя, когда  $h'$  увеличивается на одну и ту же величину (0,1 м). При этом центр кривизны вторичного отражателя перемещается вдоль оси ординат, а координата  $y$  нижней точки остается неизменной (-0,48 м). При  $a' = 0,78$  м и  $b' = 0,48$  м центры кривизны первичного и вторичного отражателей совпадают. Данный случай соответствует максимально достижимым значениям коэффициента концентрации. При смещении центра кривизны в отрицательном направлении ( $a'$  и  $b'$  уменьшаются) коэффициент концентрации  $K$

незначительно понижается. При смещении в положительном направлении ( $a'$  и  $b'$  увеличиваются) происходит более значительное уменьшение  $K$ .

Если сравнивать параметры концентрирующих установок с цилиндрическими отражателями и отражателями с сечением в виде части эллипса, то второй вариант будет более эффективным.

Рассмотренные выше конструкции могут быть использованы как для получения тепловой энергии, так и электрической. При выработке электрической энергии в качестве приемника используется солнечная батарея, состоящая из некоторого количества последовательно и/или параллельно соединенных фотоэлементов.

Фотоэлементы представляют собой полупроводниковые устройства, преобразующие солнечный свет непосредственно в электричество [16]. Технология их производства чаще всего основана на кремнии. Но может использоваться также арсенид галлия, сульфид кадмия и др. Изготавливаются они обычно с небольшой добавкой других веществ. Фотоэлементы состоят из нескольких слоев полупроводниковых материалов, имеющих различные электронные свойства. Одним из факторов, который необходимо учесть при проектировании установок с фотоэлементами является разная интенсивность падающего солнечного излучения в течение суток. Оптимизация работы системы электроснабжения и нагрузки в этом случае описана в работе [7].

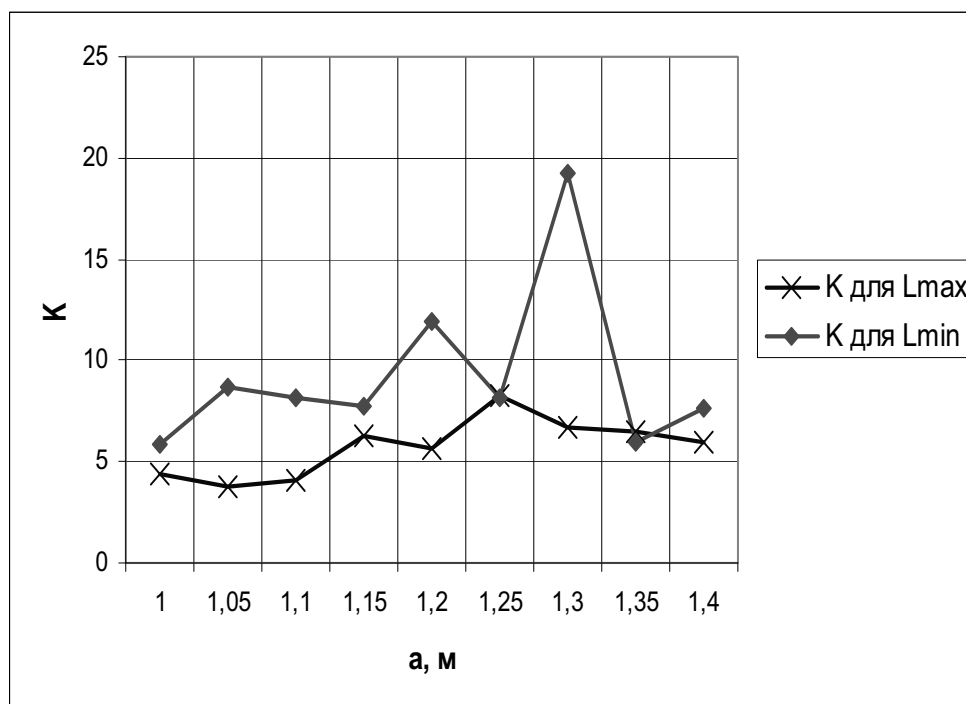


Рис. 6. Зависимость коэффициента концентрации  $K$  от радиуса кривизны первичного отражателя  
 Fig. 6. Dependence of coefficient of the concentration  $K$  from the radius of curvature of primary reflectors

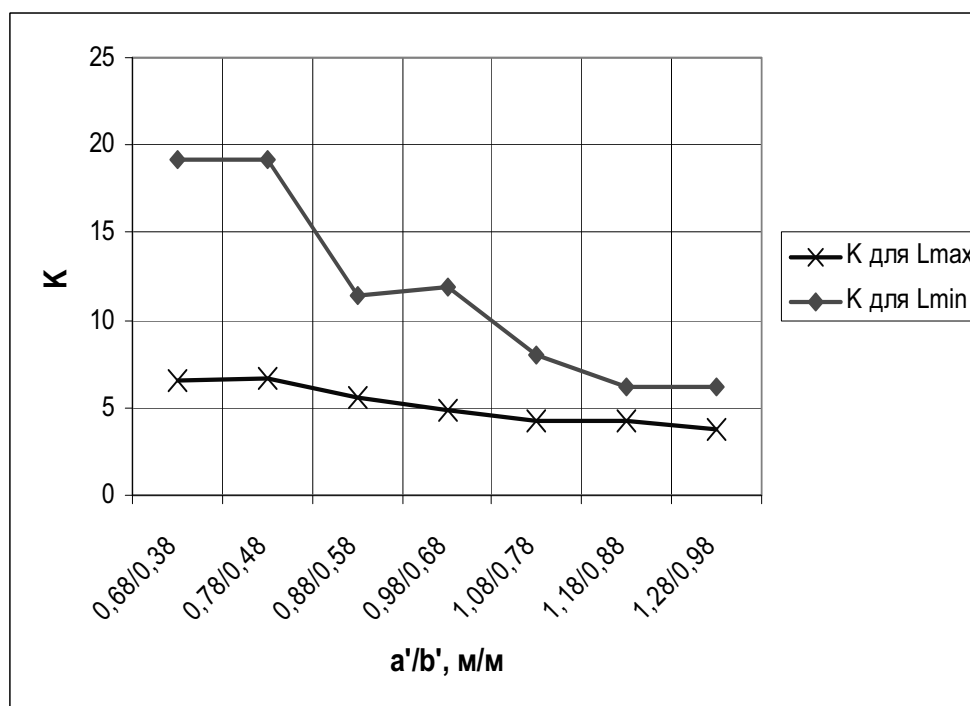


Рис. 7. Зависимость коэффициента концентрации  $K$  от параметров вторичного отражателя  
 Fig. 7. Dependence of coefficient of the concentration  $K$  from the parameters of the second reflector

Известно, что для эффективной работы фотоэлементов необходимо поддерживать температуру менее  $100^{\circ}\text{C}$  [4]. В работе [2] показано, что применение двух отражателей может способствовать поддержанию температурного режима.

В случае применения концентрирующих установок еще одним фактором, требующим внимание, является значительная неравномерность освещения фотоэлементов солнечной батареи. Если фотоэлементы соединены между собой последовательно,

то происходит снижение выходной мощности и увеличение внутренних потерь энергии для слабо освещенного фотоэлемента, так как он не может пропустить ток больший, чем вырабатывает сам. Следовательно, при применении солнечной батареи в качестве приемника необходимо знать распределение плотности сконцентрированного потока или обеспечить его равномерность, как предложено в работах [8, 9, 10]. Это позволит подобрать размеры, расположение и соединение отдельных фотоэлементов таким образом, чтобы обеспечить большую эффективность и надежность использования. На рис. 8 показаны графики

зависимости коэффициента концентрации  $K$  от координаты  $x$  для сконцентрированного потока солнечного излучения. Они показывают, что при изготовлении вторичных отражателей с сечением в виде части эллипса наблюдается большая неравномерность распределения энергии.

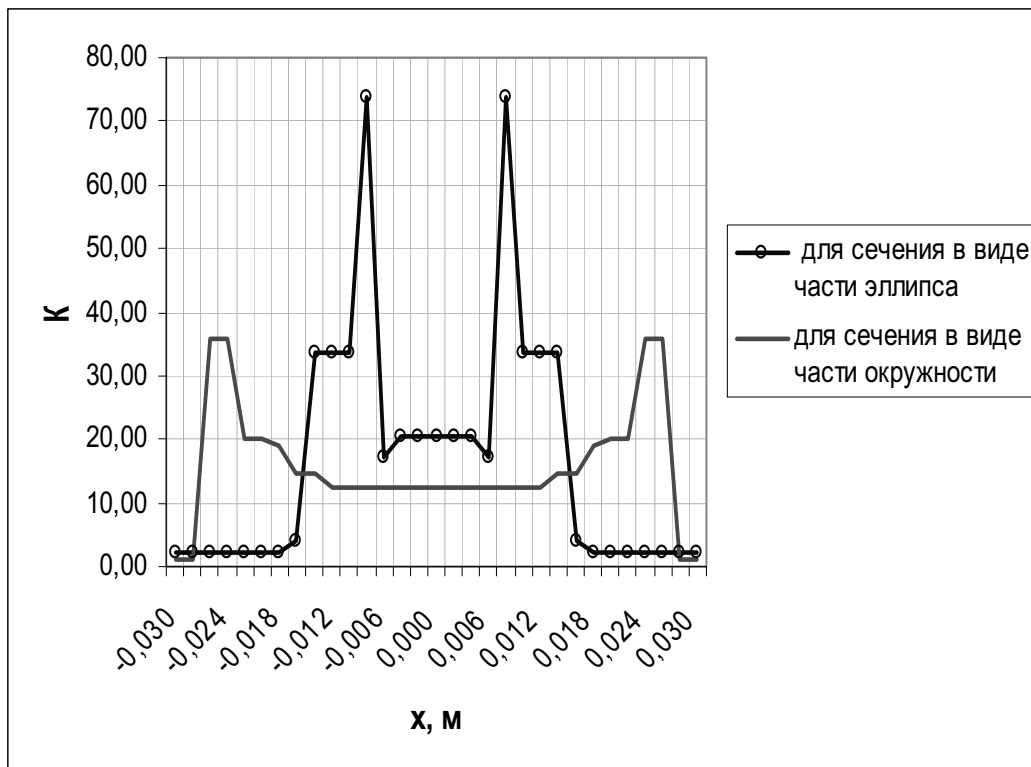


Рис. 8. Распределение сконцентрированного потока солнечного излучения по приемнику  
 Fig. 8. Distributing of the concentrated stream of sun radiation on a receiver

## ВЫВОДЫ

Проведено исследование солнечных концентрирующих установок с двумя отражателями. Показаны условия выбора расположения и формы вторичных отражателей для обеспечения максимальных значений коэффициента концентрации. При этом применение отражающих поверхностей с сечениями в виде части эллипса обеспечит больший коэффициент концентрации по сравнению с цилиндрическими поверхностями с сечением в виде части окружности, но неравномерность распределения энергии также увеличится. Поэтому необходимо подобрать размеры, расположение и соединение отдельных фотоэлементов для обеспечения их эффективной работы, если в качестве приемников используются солнечные батареи.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Dvoretzky A., 2008. Increasing energy effectiveness of individual house with use of solar energy. MOTROL, Lublin. – Vol. 10A. – 25-30.
2. Horne S., Conley G., Gordon Dr. J., Fork Dr. D., Meada P., Schrader E., Zimmermann T., 2006. A solid 500 sun compound concentrator pv design. IEEE 4<sup>th</sup> World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Volse 1 and 2. – 694-697.
3. Koshel R. J., 2013. Illumination engineering: design with nonimaging optics. Institute of Electrical and Electronics Engineers. – 302.
4. Андреев В.М., Грилихес В.А., Румянцев В.Д., 1989. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. – Л.: Наука. – 310.
5. Аннабердыев Э., 1988. Геометрические модели САПР оптических систем солнечных энергетических установок: дис. на соискание науч. степени доктора. тех. наук: спец. 05.14.08 «Преобразование возобновляемых и нетрадиционных видов энергии», 05.01.01. «Начертательная геометрия и инженерная графика». – Ашхабад. – 283.
6. Баланчевадзе В.И., Барановский А.М., Блинкин В.Л. и др., 1990. Энергия сегодня и завтра. – М.: Энергоатомиздат. – 344.
7. Бекиров Э., Стрижаков К., 2012. Оптимизация режимов распределения нагрузки в совмещенной системе с возобновляемыми источниками энергии. MOTROL. – Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. – Vol. 14, №1. – 149-153.
8. Воскресенская С.Н., 2006. Моделирование приемника концентратора с фотоэлементами при равномерном распределении энергии солнца. Відновлювальна енергетика XXI століття. – АР Крим, Миколаївка. – 96-99.
9. Воскресенская С.Н., 2007. Геометрическое моделирование дискретного концентратора с равномерным распределением энергии на плоском

приемнике. Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Випуск 4. Прикладна геометрія та інженерна графіка. Том 35. – Мелітополь. – 136-143.

10. Воскресенская С.Н., 2011. Моделирование дискретного приемника – фотобатареи в потоке преломленных линзой лучей. Технічна естетика і дизайн: Міжвідомчий науково-технічний збірник. Випуск 8. Відп. редактор М.І. Яковлев. – К.: Віпол. – 69-74.
11. Грищенко Ю.И., 1987. Активные оптико-механические и структурно-фазовые поверхности гелиоустройств. – Киев: Наук. думка. – 168.
12. Дворецкий А., Казьмина А., 2009. Пассивные и активные солнечные установки в индивидуальном доме. – MOTROL, Simferopol – Lublin. – Vol. 11A. – 146-151.
13. Захидов Р.А., 1986. Зеркальные системы концентрации лучистой энергии. – Ташкент.: Издательство «Фан» УзССР. – 196.
14. Кильчицька С.С., 1990. Відновлювальні джерела енергії. – К.: Т-во «Знання» УРСР. – 48.
15. Пат. 2191329 Российская Федерация, МПК F24J2/14. Солнечный модуль с концентратором/ Безруких П.П., Беленов А.Т., Кивалов С.Н., Поляков В.И., Стребков Д.С., Тверьянович Э.В.; заявитель и патентообладатель Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства; опубл. 20.02.2001 г.
16. Раушенбах Г., 1983. Справочник по проектированию солнечных батарей: пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат. – 360.
17. Шадрин В.И., 2009. Автономные солнечные энергетические установки с концентраторами солнечного излучения. Лазерно-оптические системы и технологии, ФГУП "НПО АСТРОФИЗИКА", М. – 89-94.

## CONCENTRATING OPTIONS WITH TWO CYLINDRICAL REFLECTORS

**Annotation.** Dependence of coefficient of concentration from the form of the second cylindrical reflector and his position is investigational in relation to primary. Recommendation is given on placing for providing maximal out parameter. Distributing of sun energy is considered on the surface of receiver, because it matters very much for application jointly with a sun battery at making of electric energy.

**Key words:** concentrating setting, primary reflector, second reflector

# МЕТОДЫ РАСЧЕТА РАБОЧЕЙ АРМАТУРЫ КОЛОНН ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ЦИКЛИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ

Геннадий Ажермачев, Эльмар Меннанов, Николай Шевченко

Национальная академия природоохранного и курортного строительства  
г. Симферополь, ул. Павленко 3, к. 302  
Shevchenko.niko@mail.ru

**Аннотации:** Рассмотрены методы определения числа циклов и допускаемые амплитуды напряжений как при жестком так и мягком режиме нагружений. Проанализирована прочность при нестационарных режимах нагружения. Приведены рекомендации по применению коэффициента асимметрии условных упругих напряжений. Выполнен обзор отечественных и зарубежных нормативных документов по данной тематике, а также по влиянию предварительной перегрузки на долговечность конструкций работающих в условиях циклического нагружения.

**Ключевые слова:** Малоцикловое нагружение, амплитуда нагружений, число циклов нагружений, жесткое нагружение, мягкое нагружение.

## ВСТУПЛЕНИЕ

В современных нормах проектирования строительных конструкций [9] рекомендовано для стальных конструкций и их элементов, непосредственно воспринимающих нагрузки с количеством циклов нагружения менее  $10^5$ , применять такие конструктивные решения, которые не вызывают значительной концентрации напряжений, а в необходимых случаях проверять расчетом на малоцикловую прочность, так как материал в локальных зонах при малоцикловом нагружении конструкций деформируется в условиях развитых пластических деформаций.

В настоящее время в машиностроении, энергостроении, химическом машиностроении разработаны методы расчета элементов конструкций на малоцикловую усталость, которые регламентированы соответствующими нормами: отечественными нормами расчета на прочность элементов энергетического оборудования [6, 7, 8] и нормами американского общества инженеров-механиков [15].

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В связи с тем, что сопротивление циклическому разрушению в диапазоне чисел циклов от 1 до  $10^5$  определяется величиной деформации (жесткое нагружение), а инженерные расчеты прочности традиционно ведутся по напряжениям, в нормах используются условные упругие напряжения  $\sigma_a$ , равные половине произведения размаха деформаций в зоне концентрации на модуль упругости при соответствующей температуре.

Допускаемые числа циклов  $[N]$  или допускаемые амплитуды напряжений  $[\sigma_a]$  определяются по кривым усталости, полученным в результате испытаний лабораторных образцов в условиях жесткого нагружения (постоянные

амплитуды деформаций) для трех групп материалов - аустенитных нержавеющей, малоуглеродистых и низколегированных сталей; или по уравнениям, основанным на степенной зависимости Лэнжера [12]:

$$[\sigma_a] = \frac{E}{4N_p^{0,5}} \ln \frac{100}{100 - \psi} + \sigma_{-1}, \quad (1)$$

где  $\psi$  - относительное сужение попе-речного сечения образца при статическом растяжении, выраженное в %.

$\sigma_{-1}$  - предел выносливости гладкого цилиндрического образца при симметричном цикле растяжения-сжатия.

Первое слагаемое уравнения соответствует амплитуде пластической деформации [11, 1], второе - упругой. На основании уравнения (1) по максимальным значениям амплитуд условных упругих напряжений  $\sigma_a$ , определяемых расчетным или экспериментальным путем для наиболее нагруженных элементов конструкций, может быть рассчитано предельное число циклов нагружения конструкций.

В американских нормах [15] местные деформации в зонах: концентрации напряжений (условные упругие напряжения) вычисляются через эффективные или теоретические коэффициенты концентрации напряжений  $\alpha_\sigma$  в предположении, что в процессе упругопластического деформирования они не меняются с числом циклов.

Отечественные нормы расчета на усталость [6, 7, 8], основанные на работах Серенсена С.В., Шнейдеровича Р.М., Махутова Н.А., Гусенкова А.П. и др. [16] учитывают ряд факторов не нашедших достаточного отражения в американских нормах: одностороннее накопление пластических деформаций в процессе циклического нагружения, зависимость сопротивления деформированию и разрушению от исходных механических свойств стали и температуры, влияние асимметрии цикла

напряжений и деформаций на долговечность в широком диапазоне чисел циклов. Расчет на малоцикловую усталость согласно норм [2, 3, 4] учитывает возможные схемы нагружения материала в конструкциях, предельными для которых являются жесткое (с постоянной амплитудой деформации) и мягкое (с постоянной амплитудой нагрузки) нагружения.

Определение допускаемых амплитуд  $[\sigma_a]$  или чисел циклов  $[N]$  по критерию малоциклового разрушения при жестком нагружении производится с использованием уравнений:

$$[\sigma_a] = \frac{2,3E^t}{n_\sigma \left( 4[N]^m + \frac{1+r^*}{1-r^*} \right)} \lg \frac{100}{100-\psi^t} + \frac{\sigma_{-1}}{n_\sigma \left( 1 + \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_B} \cdot \frac{1+r^*}{1-r^*} \right)}, \quad (2)$$

$$[\sigma_a] = \frac{2,3E^t}{4 \left( n_N [N]^m + \frac{1+r^*}{1-r^*} \right)} \lg \frac{100}{100-\psi^t} + \frac{\sigma_{-1}}{1 + \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_B} \cdot \frac{1+r^*}{1-r^*}}, \quad (3)$$

$n_\sigma, n_N$  - коэффициенты запаса по напряжениям и долговечности, принимаются равными  $n_\sigma = 2, n_N = 10$ ,

$r^*$  - коэффициент асимметрии условных упругих напряжений,

$E^t, \psi^t, \sigma_B^t$  - характеристики механических свойств материала при заданной температуре, d

$m_1$  - постоянная материала, зависящая от асимметрии цикла напряжений.

Определение  $[\sigma_a]$  или  $[N]$  при мягком нагружении (с учетом возможного накопления односторонних пластических деформаций) производится с помощью уравнений:

$$[\sigma_a] = \frac{1,15AE^t}{n_\sigma [N]^{m_1}} \cdot \frac{1-r_\sigma}{2} \cdot (\alpha_\sigma)_{np}^2 \cdot \lg \frac{100}{100-\psi} + \frac{\sigma_{-1}}{n_\sigma \left( 1 + \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_B} \cdot \frac{1+r_\sigma}{1-r_\sigma} \right)}, \quad (4)$$

$$[\sigma_a] = \frac{1,15AE^t}{(n_N [N])^{m_1}} \cdot \frac{1-r_\sigma}{2} \cdot (\alpha_\sigma)_{np}^2 \cdot \lg \frac{100}{100-\psi} + \frac{\sigma_{-1}}{1 + \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_B} \cdot \frac{1+r_\sigma}{1-r_\sigma}}, \quad (5)$$

$r_\sigma$  - коэффициент асимметрии по напряжениям,

$(\alpha_\sigma)_{np}$  - приведённый коэффициент концентрации напряжений:

$$(\alpha_\sigma)_{np} = \frac{\sigma_a}{(\sigma_a)_{np}},$$

$A$  - характеристика материала (параметр диаграммы циклического деформирования,  $A = 1,0-3,55$ ),

$\psi_B$  - коэффициент равномерного сужения поперечного сечения образца (при напряжениях равных пределу прочности):

$$m_1 = \left( 1,2 \frac{\sigma_{0,2}^t}{\sigma_B^t} - 0,35 \right) \frac{1-r_\sigma}{2}.$$

Согласно норм за допускаемые следует принимать наименьшие из четырех значений  $[\sigma_a]$  и  $[N]$ , определенных по формулам (1) – (5).

В нормах приведены рекомендации для определения некоторых из указанных параметров. Предел усталости принимается равным:  $\sigma_{-0,1}^t = 0,4\sigma_B^t$  при  $400 \text{ МПа} < \sigma_B^t \leq 700 \text{ МПа}$  и  $\sigma_{-0,1}^t = (0,54 - 2 \cdot 10^{-3} \sigma_B^t)$  при  $700 \text{ МПа} < \sigma_B^t \leq 1200 \text{ МПа}$ .

Коэффициент асимметрии условных упругих напряжений  $r^*$  в формулах (2) и (3) рекомендуется вычислять по формуле:

$$r^* = \frac{(\sigma_{\max} - 2\sigma_a)}{\sigma_{\max}}, \quad (6)$$

где  $\sigma_{\max}$  и  $\sigma_a$  - соответственно максимальное местное условное напряжение цикла и амплитуда местных условных напряжений.

При  $\sigma_{\max} < \sigma_{0,2}$  коэффициенты асимметрии  $r_\sigma$  и  $r^*$  условно принимаются равными, а при  $\sigma_{\max} < \sigma_{0,2}$  или  $|\sigma_{\max} - 2\sigma_a| > \sigma_{0,2}$  коэффициент

асимметрии по напряжениям  $r_\sigma$  вычисляют по формуле

$$r_\sigma = \frac{(\sigma_{0,2} - 2\sigma_a)}{\sigma_{0,2}}. \quad (7)$$

При  $\sigma_a > \sigma_{0,2}$ . Если оказывается, что  $r_\sigma < -1$ , то в расчете следует принимать  $r_\sigma = -1$ .

При возникновении в зонах концентрации напряжений упруго-пластических деформаций коэффициент концентрации условных упругих напряжений  $K_\sigma$  в нормах [6, 7, 8] определяется из соотношения Нейбера:

$$K_\sigma = \frac{\alpha_\sigma^2}{K_{\sigma_{yup}}}, \quad (8)$$

где  $K_{\sigma_{yup}}$  - коэффициент концентрации напряжений в упругопластической области. Величина  $K_{\sigma_{yup}}$ , входящая в (8) вычисляется по формуле

$$K_{\sigma_{yup}} = \frac{\sigma_{0,2}}{\sigma_n}. \quad (9)$$

В нормах оговорено, что формула (8) и (9) применима при  $\alpha_\sigma \leq 3,5$ .

Необходимо отметить также, что в нормативных документах [6, 7, 8, 11] предусмотрено проведение приемочных испытаний готовых конструкций или их элементов. При этом величина предварительного нагружения в 1,25 раза превышает расчетный уровень нагрузки.

При оценке ресурса нестационарность силовых и температурных нагрузок при эксплуатации на различных режимах учитывают [6, 7, 8] на основе линейного суммирования повреждений по формуле

$$\sum_{j=1}^n \frac{N_j}{[N_j]} = a, \quad (10)$$

где  $N_j$  - число циклов нагружения на j-том режиме в эксплуатации с напряжениями  $\sigma_{aj}$ ,

$[N_j]$  - допускаемое число циклов нагружения, определяемое по расчетной кривой усталости при уровне напряжений  $\sigma_{aj}$  j-го режима,

n - число режимов нагружения.

Условие прочности при нестационарных режимах нагружения:

$$\sum_{j=1}^n \frac{N_j}{[N_j]} = a < a_N,$$

где  $a$  - накопленное усталостное повреждение;  $a$  не должно превышать 1,0 ( $a_N = 1$ ).

Для увеличения долговечности сооружений работающих в условиях циклического нагружения допустимо применять предварительные перегрузки.

Эксплуатационные режимы нагруженности ряда ответственных конструкций, работающих в области ограниченной долговечности при сравнительно небольших числах нагруженности, содержат перегрузки, вызывающие значительные пластические деформации.

Первые работы, посвященные изучению влияния перегрузок на долговечность элементов металлических конструкций относились к области многоциклового усталости. Форрестом [18] впервые было показано благоприятное влияние предварительной растягивающей нагрузки, превышающей рабочий уровень и приводящий к появлению в местах концентрации напряжений пластических деформаций, на долговечность образцов с надрезом. Предварительное нагружение, уровень которого составлял  $\sigma_{пер} = 0,75\sigma_B$ , значительно повысило долговечность образцов из алюминиевого сплава, особенно в области чисел циклов  $N > 10^5 - 10^6$  и повысило предел усталости в два раза.

Многочисленные исследования [3, 5, 19, 23, 2], подтвердили положительное влияние предварительной растягивающей перегрузки на усталостную прочность элементов металлических конструкций в области многоциклового усталости.

В СССР было выполнено большое число работ посвященных изучению влияния воздействия предварительной перегрузки на долговечность элементов металлических конструкций в области малоциклового усталости [10, 13, 16], которые позволяют утверждать, что предварительное нагружение в контролируемых условиях повышает долговечность элементов металлических конструкций в области малоциклового усталости. Вместе с тем, в ряде работ [4, 22] отмечается снижение эффекта воздействия перегрузок на условия зарождения усталостных трещин в результате релаксации остаточных сжимающих напряжений под действием последующего пластического деформирования при циклическом нагружении. В связи с этим встает вопрос об оптимальном уровне предварительных перегрузок, приводящих к максимальному увеличению ресурса металлических конструкций в области

малоцикловой усталости при заданных условиях эксплуатации.

Как известно, перегрузка, приводящая к появлению локальных пластических деформаций растяжения в зонах концентрации напряжений, способствует возникновению в этих местах после ее снятия остаточных (начальных) напряжений сжатия, наличием которых, в большинстве случаев, и объясняется повышение долговечности элементов. Однако перегрузки всегда связаны с большей или меньшей пластической деформацией, влияние которой также необходимо учитывать.

Для количественного описания влияния перегрузки на усталостную долговечность элементов металлических конструкций обычно исходят из предположения, что основную роль в повышении долговечности элементов играют остаточные сжимающие напряжения и, что остаточные напряжения оказывают такое же влияние на усталостную долговечность, как и средние напряжения

#### ВЫВОДЫ:

1. В существующих нормах не учитывается тот факт, что в большинстве конструкций вследствие предварительных перегрузок материал зон концентрации испытывает значительные пластические деформации, которые приводят к появлению остаточных начальных напряжений. Оба эти фактора (предварительная деформация и начальные напряжения) оказывают существенное влияние на малоцикловую долговечность металлических конструкций.

2. В нормах нет рекомендаций для расчета конструкций, подвергающихся нагружению с коэффициентами асимметрии  $r_\sigma < -1$ .

3. Отсутствуют данные о поведении арматурного проката А500С при циклическом нагружении. В публикациях встречается только статический расчет. [14, 20, 21]

4. Коэффициенты запаса, рекомендуемые нормами для определения допускаемых величин  $[\sigma_a]$  и  $[N]$ , являются постоянными и не зависят от сроков службы конструкции, режима эксплуатации, дисперсии механических характеристик материала. Между тем известно, что несущая способность элементов в значительной степени зависит от указанных факторов.

5. При оценке ресурса конструкций, подверженных нерегулярному нагружению, используется правило линейного суммирования повреждений. Однако, после предварительных перегрузок выражение, используемое в нормах для оценки накопления повреждений перестает соответствовать фактическому.

6. Ни в одних из указанных норм не учитывается неоднородность материала и рассеяние его механических характеристик.

В силу того, что известные нормы расчета не полностью отражают реальные условия работы конструкций, следует рассмотреть и проанализировать основные факторы, влияющие на долговечность элементов, подверженных повторному нагружению, а именно:

- влияние предварительной перегрузки на стадии зарождения усталостных трещин,
- закономерности накопления усталостных повреждений и методы обработки процессов нагружения при нерегулярном силовом воздействии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Manson S.S. 1965. Fatigue complex subject - some simpl approximations. - Experimental Mechanics, N 7.
2. Watson P., Topper T.H. 1972. Fatigue - damage Evaluation for Mild Steel Incorporating Mean Stress and Overload Effects, - Experimental Mechanics, N 1.
3. Бондарович Л.А., Злочевский А.Б., Шувалов А.Н. 1982. Повышение циклической долго-вечности элементов конструкций созданием благоприятных остаточных напряжений. М.
4. Вандышев В.П. 1987. О влиянии нестационарного нагружения и концентрации напряжений на сопротивление сталей 45 и 40Х.-В сб. "Общие проблемы машиностроения", Наука, М.
5. Влияние предварительной деформации на свойства металлов и сплавов. Сб. статей, Алма-Ата, Наука, 1971.
6. ГОСТ 25.502-79\* Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость. М., Государственный комитет СССР по стандартам, 1986.
7. ГОСТ 25.504-82 Расчеты и испытания на прочность. Методы расчета характеристик сопротивления усталости. М., Государственный комитет СССР по стандартам, 1983.
8. ГОСТ 25.505-85 Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Метод испытаний на малоцикловую усталость при термомеханическом нагружении. М., Государственный комитет СССР по стандартам, 1986.
9. ДБН В.2.6-163:2010. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу. К., Мінбуд України, 2011 г., 220 с.
10. Злочевский А.В., Бондарович Л.А., Шувалов А.Н. 1979. Влияние интенсивной перегрузки на кинетику роста усталостной трещины. Физико-механическая механика материала, №6.
11. Коффин Л.Ф., Тавернелли Д.Ф. 1962. Экспериментальное подтверждение обобщенного уравнения для оценки усталости при малом числе циклов. - Техническая механика, т.84.
12. Лэнджер В.Ф. 1962. Расчет сосудов давления на малоцикловую долго- прочность. Техническая механика. Труды АОИМ, русск. пер. сер.Д, т.8.



13. Махутов Н.А., Щербак А.М. 1970. Сопротивление малоцикловому нагружению стали после искусственного старения. В ж-ле "Проблемы прочности", №4.
14. Меннанов Эльмар. 2010. К вопросу надежности и долговечности сварных соединений строительных конструкций / Эльмар Меннанов, Геннадий Ажермачев, Азиз Абдурахманов, Эльдар Меннанов // MOTROL. — Commission of motorization and energetics in agriculture : Polish Academy of sciences. — Lublin, — Vol. 12D.
15. Нормы американского общества инженеров-механиков. ЦДИИАТОМИНФОРМ, Вып.4, разд.3, М., 1974.
16. Серенсена С.В. 1975. Прочность при малоцикловом нагружении., М., Наука.
17. СНИП III-18-75. 1976. Правила производства и приемки работ. Металлические конструкции. М., Стройиздат.
18. Форрест П. 1968. Усталость металлов. М., Машиностроение.
19. Харрисон Т.О., Фирнехаф Ж.Д. 1972. Влияние предварительного нагружения на хрупкое разрушение деталей, содержащих острые дефекты.
20. Шевченко Н.Н. 2009. Исследование работы сварных стыковых соединений арматурного проката класса А500С с уменьшенными боковыми накладками / Николай Шевченко, Эльмар Меннанов // MOTROL. — Commission of motorization and energetics in agriculture : Polish Academy of sciences. — Lublin, — Vol. 11B.
21. Шевченко Н.Н. 2012. Усиление сварных соединений арматуры класса А500С выполненных на стальной скобе / Эльмар Меннанов, Азиз Абдурахманов, Николай Шевченко // MOTROL. — Commission of motorization and energetics in agriculture : Polish Academy of sciences. — Lublin, — Vol. 14, № 1.
22. Шлюшенков А.П. 1974. Накопление усталостных повреждений при действии пиковых перегрузок выше предела текучести. В сб. "Расчет и конструирование машин".
23. Шур Д.М., Ивченко Л.Ф. 1972. Влияние предварительного нагружения на сопротивление сварных соединений хрупкому разрушению. "Сварочное производство", №2.

METHODS OF CALCULATING THE  
WORKING REINFORCEMENT FOR  
COLUMNS CONCRETE STRUCTURES  
WORKING UNDER CYCLIC LOADING

**Summary:** The methods for determining the allowable number of cycles and the amplitude of the voltage at both hard and soft mode of loading. Analyzed the strength of non-stationary loading conditions. The recommendations for the use of the asymmetry of conditional elastic stresses. A review of domestic and foreign regulations on the subject, as well as on the effect of pre-congestion on the durability of structures operating under cyclic loading.

**Key words:** low-cycle loading, the amplitude of loading, the number of loading cycles, hard loading, soft loading.



## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГИДРОПРИВОДА БЛОЧНО-ПОРЦИОННОГО ОТДЕЛИТЕЛЯ КОНСЕРВИРОВАННЫХ КОРМОВ

Николай Иванов, Сергей Шаргородский, Владимир Руткевич

Винницкий национальный аграрный университет

Адрес рабочего места: 21008, Украина, г. Винница, ул. Солнечна, 3

e-mail: mosgv@ukr.net

**Аннотация.** Рассматриваются вопросы моделирования динамических процессов, протекающих в сложной гидромеханической подсистеме механизма блочно-порционного отделителя консервированных кормов. Описан принцип действия погрузочного средства для блочно-порционной выемки консервированных кормов из траншейных хранилищ. Описан гидравлический привод механизма блочно-порционного отделителя, который позволяет согласовать работу привода ножевого механизма с его подачей. Приведена математическая модель гидропривода отделителя и результаты его исследования.

**Ключевые слова:** гидропривод, моделирование, автоматическое регулирование, блочно-порционный отделитель, консервированный корм, рабочий орган.

### ВВЕДЕНИЕ

Аграрный сектор Украины в настоящее время вошел в число ведущих отраслей хозяйственного комплекса страны, крупнейших наполнителей государственного бюджета. Данные обстоятельства способствуют активизации рынка сельскохозяйственной техники. Динамика продаж сельскохозяйственной техники на Винничине показывает 10–15% ежегодного прироста. Возрастает объем поставок сельхозтехники отечественными предприятиями, постепенно завоевывающими рынок и развивающими производство машин новых модификаций. В этом ряду – успешное развитие выпуска оборудования и машин для животноводства, осуществляемое ООО «Брацлав».

Наиболее интенсивно в Украине в настоящее время развивается растениеводство, имеющее в нынешних условиях наиболее высокие экономические показатели при минимизированных сроках окупаемости. Технологически более сложные направления аграрного производства, такие, как, например, животноводство, в данный момент развиваются не столь интенсивно, однако очевидно, что наличие объемного рынка потребления в Европе и других странах будет стимулировать также подъем и этих отраслей.

Создание высокотехнологичных животноводческих предприятий требует создания и внедрения новых средств механизации и автоматизации производственных процессов. Значительна роль в решении указанных задач средств гидрофикации приводов рабочих органов, являющихся в большинстве случаев безальтернативными. В настоящее время в отечественном машиностроении отсутствуют современные машины для блочно-порционной выдачи консервированных кормов, позволяющей значительно повысить их сохранность, пищевую эффективность, уровень

механизации работ на животноводческих фермах. Уровень гидрофикации выпускаемых в Украине машин низок, не отвечает современным требованиям по энергосбережению, производительности, экономическим показателям и требует дальнейшего усовершенствования.

### АНАЛИЗ ПРЕДЫДУЩИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Преобладающее большинство современных мобильных машин сельскохозяйственного назначения имеют гидросистемы, в которых применяются нерегулируемые шестеренные насосы. Такие гидросистемы отличаются надежностью и невысокой стоимостью, однако в большинстве случаев не предусматривают возможность регулирования скорости исполнительных органов машин.

Требования экономии топлива, удобства управления и интеллектуальности привели к появлению на мировом рынке широкой гаммы гидравлического и электронного оборудования для мобильных машин, в том числе, и сельскохозяйственной техники. Появляются новые гидравлические системы управления, сочетающие преимущества гидравлических и механических приводов [1, 2, 10, 11, 12].

Перспективным направлением дальнейшего совершенствования гидравлических приводов машин для животноводства наряду с применением средств мехатроники является применение гидроприводов, чувствительных к нагрузке. Их применение обеспечивает уменьшение потерь мощности в сравнении с гидроприводом постоянного расхода, так как контроль величины расхода рабочей жидкости в рабочих контурах автоматически корректируется в соответствии с величиной расходов в линии нагнетания при

отклонении давления нагрузки от заданных значений [2,3,4].

В настоящее время особенности гидропривода, чувствительного к нагружению, изучены недостаточно. Нерешенными остаются вопросы выбора уравнивающего перепада давления, возможности его уменьшения и изменения соответственно режиму работы гидропривода, что обеспечивает минимизацию потерь мощности по отношению к произведенной мощности, повышение коэффициента полезного действия системы управления гидроприводом [5,6].

Во многих случаях распределители специализированы в соответствии со структурой и особенностями режимов работы отдельных исполнительных гидродвигателей, что значительно снижает возможность их успешного применения в гидроприводах иного предназначения. Неизвестны технические решения по созданию гидропривода, чувствительного к нагрузке, для эксплуатации в составе машин для отделения дозированных порций консервированных кормов (силос, сенаж) и его транспортировки к месту кормления животных, хотя подобные решения для современных машин, предназначенных для кормопроизводства, актуальны.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью работы является разработка гидропривода, чувствительного к нагрузке, для обеспечения работы исполнительных органов механизма отделения консервированного корма блочно-порционный погрузчика. Для обеспечения энергоэкономного режима работы, уменьшения числа структурных элементов, поддержания рационального соотношения параметров режимов резания (поддачи ножевого механизма и скорости резания) поставленная задача решается путем моделирования работы разработанного гидропривода с последующим обоснованием рациональных значений параметров разработанного гидропривода.

### ИЗЛОЖЕНИЯ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Конструктивная схема блочно-порционного отделителя консервированных кормов показана на рисунке 1.

Резак отделителя состоит из вертикальной рамы 1, на нижнем брус 2 которой закреплены вилы 3, также на раме размещена П - образная рамка 4 с режущими ножами 5, вертикальное перемещение которой осуществляется с помощью гидроцилиндра 6 и поперечной тяги 9, а отделение консервированного корма от монолита в вертикальной плоскости осуществляется с помощью ножевого механизма с приводом от гидромотора 8. Блочно-порционный отделитель навешивается на

стрелу 7 фронтального погрузчика на базе трактора МТЗ-82 [7].

Механизм работает таким образом. При крайнем верхнем положении П - образной рамки 4 вилы 3 под напором трактора горизонтально погружаются в кормовую массу, фиксируя ее относительно механизма. После этого включается гидроцилиндр 6 и гидромотор 8. При вертикальном перемещении П - образной рамки по направляющих 10 сверху вниз отрезанная порция корма имеет форму параллелепипеда.

Для отделения следующей порции корма П - образная рамка возвращается в верхнее положение, осуществляя холостой ход, после чего процесс повторяется.

Для повышения эффективности использования механизма для блочно-порционного отделения консервированного корма, снижения расходов, при его функционировании, повышение производительности появилась необходимость в решении проблемы создания гидравлического привода подачи П - образной рамки блочно-порционного отделителя консервированных кормов, что позволит уменьшить скорость подачи при усложнении условий процесса резания.

Для решения поставленной задачи предложен гидравлический привод режущих рабочих органов блочно-порционного отделителя консервированных кормов, схема которого показана на рисунке 2.

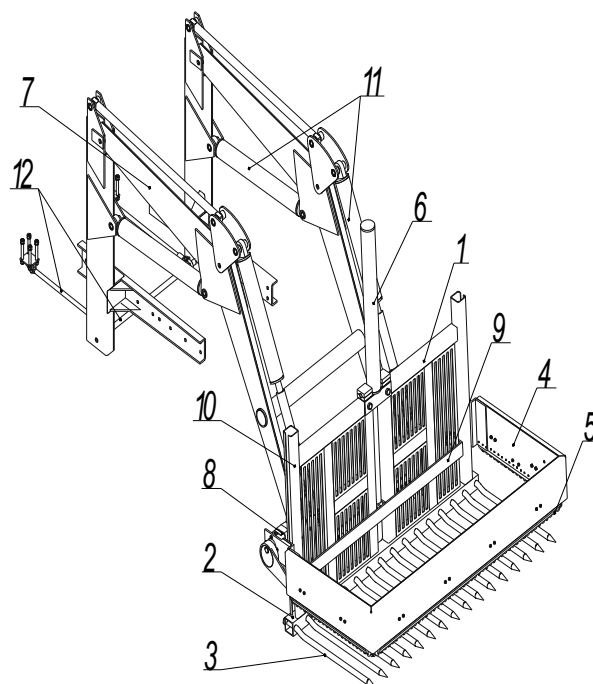


Рис. 1. Блочно-порционный отделитель консервированных кормов

1-рама блочно-порционного отделителя, 2-нижний брус, 3-вила, 4-П-образная рамка, 5 - режущие ножи, 6-гидроцилиндр, 7-стрела, 8 - гидромотор, 9 - поперечная тяга, 10-направляющие, 11-гидроцилиндры стрелы, 12-элементы крепления.

Fig.1. Block-portion out loading of canned forage  
 1- frame block-portion out loading, 2- lower squared beam, 3-twisted, 4-P-similar scope, 5-cuttings knives, 6-hydrocylinder, 7-strila, 8-hydromotor, 9- transversal traction, 10- sending, 11- hydrocylinder strila , 12- elementi fastening.

Разработанный гидропривод содержит гидравлический бак 1, предохранительный клапан 2, насос 3, золотниковый делитель потока 4 с гидролинией управления 15, напорные гидролинии 5 и 6, гидромотор 7 привода ножей режущего механизма, четырехлинейный трехпозиционный распределитель с электрогидравлическим управлением 8, гидроцилиндр 9 привода П – образной рамки, несущей режущей механизм, сливную гидролинию 10, фильтра 11, обратный клапан 12, регулируемые дроссели 13 и 16.

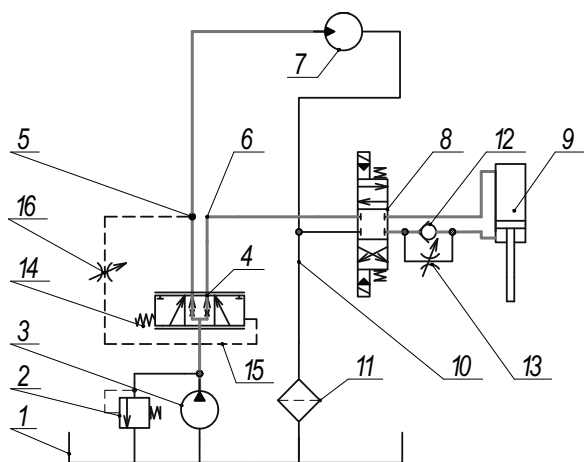


Рис.2. Гидравлический привод блочно-порционного отделителя консервированных кормов  
 1-гидробак, 2-предохранительный клапан, 3-гидронасос, 4-золотниковый делитель потока, 5,6-гидролинии напорные, 7-гидромотор, 8-четырёхлинейный трёхпозиционный распределитель с электрогидравлическим управлением, 9-гидроцилиндр, 10-сливная гидролиния, 11-фильтр, 12-обратный клапан, 13,16-регулируемые дроссели, 14-пружина, 15-гидролиния управления.

Fig.2. Hydraulic drive for block-portion out loading of canned forage  
 1- hydraulic tank, 2-safety valve, 3-hydraulic geat, 4-spool-type dililnik to a stream, 5-6-pressure head hydrolines, 7-hydromotor, 8-the chetirekhliniyny three-position distributor with electrohydraulic operate, 9-hydrocylinder, 10-drain hydroline, 11-oil, 12-backpressure valve, 13,16-regulate baffle, 14-spring, 15-operate hydroline.

Гидравлический привод блочно-порционного отделителя консервированного корма работает следующим образом. Рабочая жидкости от насоса 3 подается на вход делителя потоков 4. С выхода делителя потока рабочая жидкость по гидролинии 5 поступает на вход гидромотора 7 привода ножей

режущего механизма и приводит его во вращение. Одновременно по гидролинии 6 рабочая жидкость подается на вход распределителя 8. В начальном положении распределителя проход жидкости к гидроцилиндру 9 привода П-образной рамки закрыт. Для осуществления перемещения поршня гидроцилиндра 9 золотник распределителя 8 должен быть смещен в одно из крайних положений. При смещении золотника распределителя 8 вниз жидкость из напорной гидролинии 6 поступает в верхнюю поршневую полость цилиндра 9. Соответственно жидкость из нижней штоковой полости через гидравлическое устройство, включающее обратный клапан 12 и регулируемый дроссель 13, распределитель 8, гидролинию 10 и фильтр 11, отводится в бак 1. В данном случае осуществляется перемещения рабочей рамки, соответствующее отделению блока консервированного корма. Скорость подачи определяется расходом, подаваемым делителем потоков, а также сопротивлением сливу из штоковой полости гидроцилиндра 9, определяем открытием регулируемого дроссели 13. Обратный клапан 12 при этом прижат потоком к седлу и рабочую жидкость не пропускает.

При изменении величины сил, действующих на гидромотор 7 привода ножей режущего механизма, изменяется давление в напорной гидролинии 5. При увеличении сил резания, например, при резании промерзшего силоса, указанное давление растет, по гидролинии управления передается в полость под правым торцем золотника распределителя 4 и смещает его влево. При этом уменьшается открытие окна, через которое рабочая жидкость подводится в поршневую полость гидроцилиндра, в результате чего подача П-образной рамки уменьшается. Уменьшение подачи инструмента уменьшает режущее усилие, что позволяет увеличить скорость резания, определяемую частотой вращения гидромотора 7. Соответствующее повышения частоты вращения вала гидромотора происходит в результате смещения золотника распределителя 4 влево и дополнительного открытия при этом рабочего окна, соединяющего насос с гидромотором.

При смещении золотника распределителя 8 вверх рабочая жидкость, проходя через распределитель 4, поступает через обратный клапан 12 в штоковую полость гидроцилиндра 9. Поршень гидроцилиндра перемещается со скоростью отвода П-образной рамки, реализуя режим отвода режущего механизма. При этом в результате разгрузки режущего механизма давление в напорной гидролинии 5 уменьшается и, соответственно, уменьшается давление под правым торцем золотника распределителя 4, в результате чего под действием пружины 14 золотник перемещается вправо, уменьшая открытие окна, соединяющего насос с гидромотором 7. Расход жидкости в

гидролинии 5 уменьшается, соответственно уменьшается частота вращения вала гидромотора.

Одновременно с этим увеличивается открытие рабочего окна, соединяющего насос с гидроцилиндром, в результате чего скорость подъема П-образной рамки увеличивается и время отвода сокращается.

Исследование процессов работы предложенного гидропривода осуществлялось методом математического моделирования. Расчетная схема гидравлического привода показана на рисунке 3.

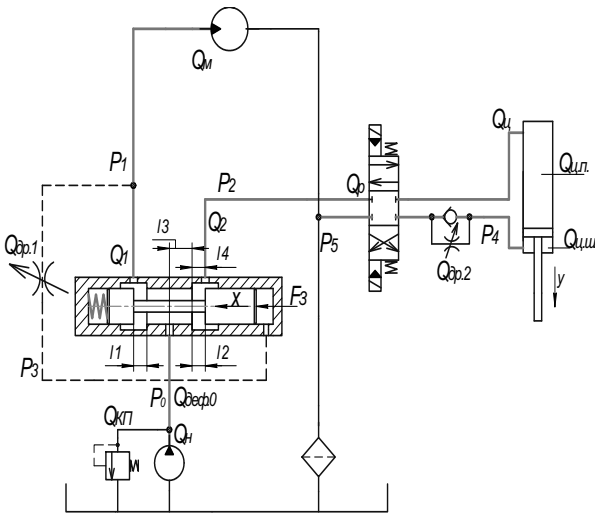


Рис.3. Расчетная схема гидравлического привода  
Fig.3.Settlement scheme of the hydraulic drive

При составлении математической модели приняты следующие допущения:

- габариты реальной гидросистемы позволяют считать длину гидролиний незначительной и рассматривать данный гидропривод как систему со сосредоточенными параметрами;
- течение жидкостей в зазорах соединений деталей гидроагрегатов и гидроаппаратуры носит ламинарный характер;
- течение жидкости через рабочие окна золотника носит турбулентный характер;
- ввиду относительно небольшой длины гидролиний, соединяющих элементы данного гидропривода, потерями давления в них и местных сопротивлениях можно пренебречь;
- пульсация подачи насоса, обычно не превышающая 1-3%, с учетом высокой частоты вращения вала насоса не вызывает колебаний давления в гидросистеме.

Согласно схемы, показанной на рисунке 3, уравнение неразрывности потоков рабочей жидкости на входе распределителя 4 будет иметь вид

$$Q_n = Q_1 + Q_2 + Q_{к.п} + Q_{деф.0} + Q_{ут} \quad (1)$$

где  $Q_n$ -объемная подача насоса,  $Q_1$ -расход жидкости через рабочее окно золотника, соединяющее насос с входом гидромотора,  $Q_2$ -расход жидкости через

окно золотника, соединяющее насос со входом распределителя 8,  $Q_{к.п}$ - расход жидкости через предохранительный клапан,  $Q_{деф.0}$ -расход жидкости на компенсацию деформации полости, находящейся под давлением  $p_0$ .

Здесь

$$Q_1 = \mu \cdot f_1 \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \sqrt{|p_0 - p_1|} \cdot \text{sign}(p_0 - p_1), \quad (2)$$

где  $\mu$  – коэффициент расхода,  $f_1$ - площадь проходного сечения первого рабочего окна распределителя,  $f_1 = a(l_1 + x)$ ,  $a$ -ширина первого рабочего окна,  $l_1$ -начальное открытие первого рабочего окна,  $x$ -смещение золотника,  $\rho$  - плотность рабочей жидкости,  $p_0, p_1$ -соответственно давление на выходе насоса и на входе гидромотора.

$$Q_2 = \mu \cdot f_2 \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \sqrt{|p_0 - p_2|} \cdot \text{sign}|p_0 - p_2|, \quad (3)$$

где  $f_2$ -площадь проходного сечения второго рабочего окна делителя потоков,  $f_2 = a(l_2 - x)$ ,  $l_2$ - начальное открытие второго рабочего окна делителя потоков, знак  $\text{sign}$  определяет направление потока рабочей жидкости в зависимости от величины давлений.

Расход жидкости через предохранительный клапан  $Q_{кп}$  определяется по формуле

$$Q_{кп} = \begin{cases} \mu \cdot f_{кп} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \sqrt{|p_0|} \rightarrow p_0 > p_{наст.кл.} \\ 0 \rightarrow p_0 \leq p_{наст.кл.} \end{cases} \quad (4)$$

где  $f_{кп}$ - площадь проходного сечения рабочего окна предохранительного клапана,  $p_0$  - давление на выходе насоса в линии нагнетания,  $p_{наст.кл.}$  - значение давления настройки предохранительного клапана.

Расход  $Q_{деф.0}$  – вызванный деформацией полостей, заполненных рабочей жидкостью, вследствие изменения давления, определяется зависимостью

$$Q_{деф.0} = K \cdot W_0 \cdot \frac{dp_0}{dt}, \quad (5)$$

где  $K$  - коэффициент податливости гидролиний и полостей данной гидросистемы,  $W_0$  - объем полости, соединяющей насос с делителем потока, находящейся под действием давления  $p_0$ .

Потери на утечки жидкости через зазоры в соединениях деталей гидроаппаратов и гидроагрегатов определяются как расход жидкости через плоскую щель с учетом следующих допущений:

- форма поверхностей, образующих канал вытекания, совершенна;
- шероховатость поверхностей во внимание не принимается;
- зазор симметричный.

В этом случае расход на утечки определяется зависимостью

$$Q_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}.0} = \sigma_0 \cdot p_0, \quad (6)$$

где  $\sigma_0$  - коэффициент утечек рабочей жидкости из полостей, которые находятся под действием давления  $p_0$ .

Уравнение неразрывности потоков рабочей жидкости на входе гидромотора имеет вид

$$Q_1 = Q_i + Q_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}1} + Q_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}1} + Q_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}1} + Q_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}1}, \quad (7)$$

где  $Q_M$  - расход, потребляемый гидромотором,  $Q_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}1}$  - расход жидкости через дроссель 16 (рисунок 2),  $Q_{yml}$  - расход жидкости на утечки,  $Q_{nep1}$  - расход жидкости на перетечки между полостями гидромотора,  $Q_{def1}$  - расход, компенсирующий деформацию полостей, заполненных рабочей жидкостью, под действием давления  $p_1$ .

Расход  $Q_M$ , потребляемый гидромотором, определяется формулой

$$Q_i = q_i \cdot \omega_i, \quad (8)$$

где  $q_m$  - характерный объем гидромотора,  $\omega_m$  - угловая скорость вращения вала гидромотора.

Расход через дроссель, установленный между входом гидромотора и правой подторцевой полостью делителя потока, определяется зависимостью

$$Q_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}1} = \mu \cdot f_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}1} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \sqrt{|p_1 - p_3|} \cdot \text{sign}(p_1 - p_3), \quad (9)$$

где  $f_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}1}$  - площадь проходного сечения рабочего окна дросселя,  $p_3$  - давление на выходе дросселя.

Потери расхода на утечки в данном случае определяются формулой

$$Q_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}} = \sigma_1 \cdot p_1, \quad (10)$$

где  $\sigma_1$  - коэффициент утечек жидкости из полостей гидросистемы, находящихся под давлением  $p_1$ .

Расход перетечек жидкости между полостями гидромотора с учетом принятых допущений определяется зависимостью

$$Q_{nep1} = \sigma_{1,2} \cdot p_1, \quad (11)$$

где  $\sigma_{1,2}$  - коэффициент перетечек рабочей жидкости из полости гидромотора высокого давления, находящейся под действием давления  $p_1$ , в полость низкого давления, находящейся под действием низкого давления  $p_{cl}$ , равного давлению в сливной гидролинии ( $p_{cl} \approx 0$ ).

Расход, компенсирующий деформацию полостей под действием давления  $p_1$ , определяется зависимостью

$$Q_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}1} = K \cdot W_1 \cdot \frac{dp_1}{dt}, \quad (12)$$

где  $W_1$  - объем полости, находящейся под давлением  $p_1$ .

Уравнение неразрывности потоков в линии управления золотником распределителя имеет вид

$$Q_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}1} = Q_{зол} + Q_{def3} - Q_{nep2,3}, \quad (13)$$

где  $Q_{зол}$  - расход, связанный с перемещением золотника,  $Q_{def3}$  - расход, компенсирующий деформацию полостей, заполненных рабочей

жидкостью, под действием давления  $p_3$ ,  $Q_{nep1,3}$  - расход перетечек жидкости между полостями, находящимися под действием давлений  $p_2$  и  $p_3$ .

Соответственно

$$Q_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}} = S_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}} \cdot \frac{d\delta}{dt}, \quad (14)$$

$$Q_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}3} = K \cdot W_3 \cdot \frac{dp_3}{dt}, \quad (15)$$

$$Q_{nep2,3} = \sigma_{2,3} \cdot (p_2 - p_3), \quad (16)$$

где  $S_{зол}$  - площадь торца золотника делителя потоков,  $dx/dt$  - скорость перемещения золотника,  $x$  - координата положения золотника,  $W_3$  - объем полости, находящейся под действием давления  $p_3$ ,  $G_{2,3}$  - коэффициент перетечек между полостями, находящимися под действием давлений  $p_2$  и  $p_3$  соответственно.

Вид уравнения неразрывности потоков в гидролинии, соединяющей делитель потоков с гидроцилиндром привода П-образной рамки, определяется положением распределителя 8 (рисунок 2). При перемещении золотника распределителя в нижнее положение уравнение неразрывности имеет следующий вид.

$$Q_2 = Q_{y.n.} + Q_{nep.y.} + Q_{yut.y.} + Q_{def2}, \quad (17)$$

где  $Q_{y.n.}$  - расход жидкости, затрачиваемый на перемещение поршня гидроцилиндра,  $Q_{nep.y.}$  - расход перетечек жидкости между полостями гидроцилиндра, находящимися под действием давлений  $p_2$  и  $p_4$  соответственно,  $Q_{yut.y.}$  - утечки рабочей жидкости из полости, находящейся под действием давления  $p_2$ ,  $Q_{def2}$  - расход, компенсирующий деформацию полостей, находящихся под действием давления  $p_2$ .

Слагаемые уравнение (17) определяются следующими зависимостями

$$Q_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}} = S_{i1} \cdot \frac{d\delta}{dt}, \quad (18)$$

$$Q_{nep.y.} = \sigma_{nep.y.} \cdot (p_2 - p_4), \quad (19)$$

$$Q_{yut.y.} = \sigma_y \cdot p_2, \quad (20)$$

$$Q_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}2} = K \cdot W_2 \cdot \frac{dp_2}{dt}, \quad (21)$$

где  $S_{n1}$  - эффективная площадь поршня гидроцилиндра в поршневой полости,  $y$  - координата текущего положения поршня гидроцилиндра,  $dy/dt$  - скорость перемещения поршня гидроцилиндра,  $\sigma_{nep.y.}$  - коэффициент перетечек рабочей жидкости между полостями гидроцилиндра,  $p_2$  - давление в поршневой полости гидроцилиндра,  $p_4$  - давление в штоковой полости гидроцилиндра,  $\sigma_y$  - коэффициент утечек из полостей гидроцилиндра,  $W_2$  - объем полостей, находящихся под действием давления  $p_2$ .

Уравнение неразрывности потоков на выходе штоковой полости гидроцилиндра в данном случае имеет следующий вид.

$$Q_{\dot{\sigma},\sigma} + Q_{\dot{\sigma}\dot{\sigma},\dot{\sigma}} = Q_{\dot{\sigma}\dot{\sigma}2} + Q_{\dot{\sigma}\dot{\sigma}\dot{\sigma}4} + Q_{\dot{\sigma}\dot{\sigma}\dot{\sigma},\dot{\sigma}\dot{\sigma}}, \quad (22)$$

где  $Q_{\sigma,\sigma}$ -расход жидкости, вытесняемой из штоковой полости при перемещении поршня гидроцилиндра,  $Q_{\sigma p,2}$ -расход жидкости через регулируемый дроссель 13 (рисунок 2),  $Q_{\sigma\sigma\sigma,4}$ -расход, компенсирующий деформацию полостей, находящихся под действием давления  $p_4$ .

Соответственно

$$Q_{\dot{\sigma},\sigma} = S_{i2} \cdot \frac{d\sigma}{dt}, \quad (23)$$

$$Q_{\dot{\sigma}\dot{\sigma}2} = \mu \cdot f_{\dot{\sigma}\dot{\sigma}2} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \sqrt{|p_4 - p_5|} \cdot \text{sign}(p_4 - p_5), \quad (24)$$

$$Q_{\dot{\sigma}\dot{\sigma}\dot{\sigma}4} = K \cdot W_4 \cdot \frac{dp_4}{dt}, \quad (25)$$

$$Q_{\sigma\sigma\sigma,\sigma} = \sigma_{\sigma\sigma} \cdot p_4, \quad (26)$$

где  $S_{i2}$ -эффективная площадь поршня гидроцилиндра в штоковой полости,  $f_{\sigma p,2}$  - площадь рабочего окна регулируемого дросселя,  $p_5$ -давление в сливной гидролинии,  $W_4$ -объем полостей, находящихся под действием давления  $p_4$ ,  $\sigma_{\sigma\sigma}$ - коэффициент утечек рабочей жидкости из штоковой полости.

При переключении распределителя, соединяющего гидроцилиндр и делитель потоков, когда согласно рисунку 3 золотник распределителя перемещается в верхнее положение, происходит быстрый отвод ножевого механизма вместе с П-образной рамкой. Соответственно изменяется характер расходов для каждой из полостей гидроцилиндра.

Тогда уравнение неразрывности потоков для штоковой полости приобретает вид

$$Q_2 = Q_{\sigma,\sigma} + Q_{\sigma p,\sigma} + Q_{\sigma\sigma\sigma,\sigma} + Q_{\sigma\sigma\sigma\sigma,4}. \quad (27)$$

Соответственно уравнение неразрывности потоков для поршневой полости в данном случае теряет практический смысл, указанная полость соединяемая со сливной гидролинией, давление  $p_5$  в которой незначительно и практически постоянно.

При этом

$$Q_{\dot{\sigma},\sigma} = -S_{i2} \cdot \frac{d\sigma}{dt}, \quad (28)$$

$$Q_{\sigma p,\sigma} = \sigma_{\sigma p} \cdot (p_2 - p_5), \quad (29)$$

$$Q_{\sigma\sigma\sigma,\sigma} = \sigma_{\sigma\sigma} \cdot p_2, \quad (30)$$

$$Q_{\dot{\sigma}\dot{\sigma}\dot{\sigma}3} = K \cdot W_4 \cdot \frac{dp_2}{dt}. \quad (31)$$

Знак минус в выражении (28) учитывает изменение направления перемещения поршня гидроцилиндра.

Перемещение золотника делителя потока и поршня гидроцилиндра происходит под действием сил, связанных с выполнением заданной программы

работы, а также сил сопротивления выполняемому перемещению.

Уравнение сил, действующих на золотник делителя потоков, для данной гидросистемы имеет вид

$$F_{\zeta} = F_{i\sigma} + F_{\sigma i} + F_{\sigma\sigma} + (F_{\sigma\sigma 2} - F_{\sigma\sigma 1}), \quad (32)$$

где  $F_{\zeta}$ -сила, действующая на правый торец золотника, определяемая величиной давления  $p_3$ ,  $F_{np}$ -сила сопротивления перемещению золотника, создаваемая пружиной,  $F_{ин}$ -сила инерции золотника,  $F_{тр}$ -сила трения, возникающая при движении золотника,  $F_{\sigma\sigma 1}$ -гидродинамическая сила на первой (левой на рисунке 3) рабочей кромке золотника,  $F_{\sigma\sigma 2}$ -гидродинамическая сила на второй (правой) рабочей кромке золотника.

Сила, действующая на торец золотника

$$F_{\zeta} = S_3 \cdot p_3, \quad (33)$$

где  $S_3$ -площадь торца золотника.

Сила инерции золотника

$$F_{\sigma i} = m_3 \cdot \frac{d^2 x}{dt^2}, \quad (34)$$

где  $m_3$ -масса золотника.

$$F_{i\sigma} = \tilde{n} \cdot \dot{\sigma}, \quad (35)$$

где  $c$ -коэффициент жесткости пружины,  $x$  - перемещение золотника.

Гидравлическая сила согласно [8,9] может быть определена по формуле

$$F_{\sigma\sigma} = 2 \cdot \tilde{n}_{\sigma\sigma i} \cdot \dot{\sigma} + \hat{E}_{\sigma\sigma i} \frac{dx}{dt}, i = 1, 2 \quad (36)$$

$$\tilde{n}_{\sigma\sigma 1} = \mu \cdot \dot{\sigma} \cdot (p_0 - p_1) \cdot \cos \theta_i,$$

$$\tilde{n}_{\sigma\sigma 2} = \mu \cdot \dot{\sigma} \cdot (p_0 - p_2) \cdot \cos \theta_i,$$

$$\hat{E}_{\sigma\sigma 1} = \tilde{n} \cdot (l_3 - l_4) \cdot \mu \cdot a \sqrt{p_0 - p_1},$$

$$\hat{E}_{\sigma\sigma 2} = \tilde{n} \cdot (l_3 - l_4) \cdot \mu \cdot a \sqrt{p_0 - p_2},$$

где  $\theta_n$ -угол наклона вектора скорости потока рабочей жидкости к оси золотника, принято рекомендуемое значение  $\theta_n=69^\circ$ ,  $l_3$ - расстояние между осью отверстия подвода рабочей жидкости и кромкой выточки в корпусе,  $l_4$ - расстояние между кромкой выточки и осью отверстия выхода рабочей жидкости.

При условии, что при движении золотника трущиеся поверхности разделены рабочей жидкостью, сила трения будет иметь жидкостный характер и определяется выражением

$$F_{\sigma\sigma} = \beta \cdot \frac{dx}{dt}, \quad (37)$$

где  $\beta$ -коэффициент жидкостного трения

Силы, определяющие режим движения гидроцилиндра привода П – образной рамки, составляют следующее уравнение равновесия.

$$F_{\sigma\sigma} = G_{i\sigma} + F_{\sigma i, \sigma\sigma} + F_{\sigma\sigma, \sigma\sigma}, \quad (38)$$



где  $F_{зч}$  – сила, развиваемая гидроцилиндром,  $F_{ин,зч}$  – приведенная сила инерции к штоку гидроцилиндра,  $F_{тр,зч}$  – сила трения,  $G_{пр}$  – вес подвижных элементов, приведенных к штоку гидроцилиндра.

Здесь

$$F_{\ddot{a}\ddot{o}} = s_{i1} \cdot p_1 - S_{i2} \cdot p_2, \quad (39)$$

$$F_{\dot{e}i \cdot o} = m_{i\ddot{o}} \cdot \frac{d^2 y}{dt^2}, \quad (40)$$

$$F_{mp \cdot \ddot{a}\ddot{o}} = \beta_{\ddot{a}\ddot{o}} \cdot \frac{dy}{dt}, \quad (41)$$

где  $m_{пр}$  – масса подвижных частей, приведенная к штоку гидроцилиндра,  $\beta_{зч}$  – коэффициент жидкостного трения между трущимися поверхностями гидроцилиндра.

Система уравнений (1) – (41) описывает основные закономерности, определяющие работу гидропривода рабочих органов отделителя консервированных кормов. Составленные уравнения позволяют проанализировать работу рассматриваемого гидропривода в двух рабочих режимах, выбор которых осуществляется с помощью электрогидравлического распределителя, установленного на входе исполнительного гидроцилиндра.

Уравнения (1)-(26), (32)-(41) описывают процессы при движении поршня гидроцилиндра вниз и выполнением, таким образом, рабочей операции по отделению порции консервированного корма от основного массива.

Уравнения (1)-(16), (27)-(41) описывают движение исполнительных элементов при отводе П-образной рамки с режущим механизмом.

Следует отметить, что рассматриваемые процессы не взаимосвязаны, структурно описываются отличающимися уравнениями, поэтому дальнейший их анализ проводился отдельно.

Составленную математическую модель отличает высокий порядок производных – шестнадцатый, а также наличие ряда нелинейных зависимостей, определяющих зависимости расхода через дроселирующие окна. В связи с этим наиболее рациональным является численное решение данной системы дифференциальных уравнений с использованием программного продукта MathCad.

На начальной стадии исследования разработанного гидропривода проведено моделирование работы в двух указанных выше режимах при следующих значениях его параметров:  $Q_{н} = 2,38 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $a = 5 \text{ мм}$ ;  $l_1 = 0,2 \text{ мм}$ ;  $\mu = 0,65$ ;  $p_0 = 10,0 \text{ МПа}$ ;  $G = 20 \text{ м}^5/\text{Н} \cdot \text{с}$ ;  $\rho = 850 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;  $K = 0,6 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{Н}$ ;  $d_3 = 20 \text{ мм} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ ;  $m = 150 \text{ кг}$ ;  $\beta = 2,5 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{с}$ ;  $D_{ц} = 63 \text{ мм}$ ;  $W_1 = W_2 = 400 \text{ см}^3$ ;  $W_4 = 300 \text{ см}^3$ .

Полученные решения свидетельствуют об устойчивом характере работы гидравлического привода в каждом из двух указанных режимов.

Быстродействие гидропривода блочно-порционного отделителя, определяемое временем переходного процесса ( $t_{пер} = 0,85 \text{ с}$ ), удовлетворяет требованиям к приводам сельскохозяйственных машин. Колебательность переходного процесса не превысила 25% по перерегулированию при числе колебаний за время переходного процесса равном двум, что также не противоречит требованиям.

## ВЫВОДЫ

Моделирование работы предложенного гидропривода блочно-порционного отделителя консервированных кормов позволяет провести обстоятельный анализ работы в каждом из установленных технологических режимов: перемещении П-образной рамки при отрезании заданной порции корма, а также ее быстром отводе по завершению операции. Предложенная математическая модель использует экспериментально проверенные характеристики элементов гидропривода, а также позволяет использовать полученные экспериментально характеристики резания консервированных кормов, определение которых проводилось при различных климатических условиях для различных кормовых культур.

Предварительные результаты моделирования работы блочно-порционного отделителя свидетельствуют об удовлетворительном качестве его динамических характеристик. Дальнейшие исследования имеют целью выявить рациональные значения параметров гидропривода блочно-порционного отделителя консервированных кормов, позволяющие обеспечить возможность его применения в условиях изменения характеристик консервированных кормов, а также возможности согласования с характеристиками применяемых энергетических средств.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кравчук В., Горбатов В., 2009.: Методика визначення перевитрат палива при зміні технічного стану гідроприводів сільськогосподарських машин. // MOTROL. – № 11А, 138–145.
2. Ratushna N., Mahmudov I., Kokhno A., 2007.: Методичні підходи до створення нової сільськогосподарської техніки у відповідності з вимогами ринку наукоємної продукції. // MOTROL. – № 9А, 119–123.
3. Бондарь В., 2003.: Система Load-Sensing в сельскохозяйственной технике. // Вибрации в технике и технологиях. – №4(30), 19–25.
4. Loveykin V., Dudchenko I., 2007.: Інтенсифікація процесу завантаження напірних грейферів у машинах сільськогосподарського призначення // MOTROL. – № 9А, 32–37.

5. Козлов Л., Крещенський Л., Петров О., 2007.: Оптимізація конструктивних параметрів гідророзподільника для гідроприводів, чутливих до навантаження, мобільних робочих машин // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. – №36, 74–76.
6. Козлов Л., Гайдамак О., Петров О., Брейнер В., 2008.: Вплив величин керуючих перепадів на динамічні характеристики гідроприводу, чутливого до навантаження //Промислова гідравліка і пневматика. – №2(20), 69-72.
7. Иванов М., Шаргородський С., Руткевич В., 2013.: Підвищення експлуатаційної ефективності блочно-порційного вивантажувача консервованих кормів шляхом гідрофікації привода робочих органів //Промислова гідравліка і пневматика. – №1(39), 89 -92.
8. Попов Д., 1987.: Динамика и регулирование гидро-и пневмосистем. – М.: Машиностроение. – 464.
9. Захаров Ю., Баранов В., Шамло И., 1962.: Определение коэффициента расхода и гидродинамической силы на золотниках гидравлических сервомеханизмов. // Станки и инструменты. –№6, 49-51
10. Мефоков И., 2000.: Расчет производительности погрузчика на выемке консервированных кормов блоками // Совершенствование рабочих процессов и обоснование параметров машин для сельскохозяйственного производства. Сб. науч. работ. Саратов. гос. агр. ун-т им Н.И. Вавилова.9–12.
11. Мефоков И., 2000.: Особенности определения цикла погрузчика при блочной выемки консервированного корма// Совершенствование рабочих процессов и обоснование параметров машин для сельскохозяйственного производства. Сб. науч. работ. Саратов. гос. агр. ун-т им Н.И. Вавилова.13–19.
12. Красников В., Дубинин В., Харченко В., Воробьев И., 1978.: Пути повышения эффективности грейферных погрузчиков //Механизация и электрификация сельского хозяйства. – №12. 28–2
13. 9.

#### MATHEMATICAL MODEL OF GIDROPRIVODA OF BLOCK-PORCION OUT OF THE CANNED FORAGE

**Summary.** The questions of design of dynamic processes, flowings in the difficult gidro-mechanical subsystem of mechanism for block-portion out loading carte separator of the canned forage are examined. The princip of operation of loading device for block-portion out loading of canned forage out of pit storage is described. The hydraulic drive of mechanism for block-portion out loading carte separator which allows to coordinate work of drive of knife mechanism with his serve is described. The mathematical model of gidroprivoda of separator and results of his research is resulted.

**Key words:** hydraulic drive, design, automatic control, block-portion out loading, canned forage, working organ.

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА УЛЬТРАЗВУКОВОГО РАСПЫЛЕНИЯ В ТОНКОМ СЛОЕ

Алина Ляшок, Олег Яхно, Александр Луговской

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

Адрес: 03056, Украина, г. Киев, прос. Победы, 37:

e-mail: [atoll-sonic@rambler.ru](mailto:atoll-sonic@rambler.ru)

**Аннотация.** Предложена схема затрат энергии при осуществлении процесса ультразвукового распыления в тонком слое. Обоснованы и расписаны энергии, которые действуют на тонкий слой жидкости при ультразвуковом распылении, а также расширено описаны составляющие всех действующих энергий. Приведены аналитические выражения для задействованных энергий. Представлен баланс энергий технологического процесса ультразвуковой распыления в тонком слое.

**Ключевые слова:** ультразвуковое распыление, энергетическая модель, энергия, тонкий слой, диспергатор.

### ВВЕДЕНИЕ

Ультразвуковые кавитационные технологии широко используются в целом ряде производств [3-8, 11, 21]. Эффективность многих технологических процессов удается повысить за счет применения технологии ультразвукового распыления в тонком слое. Эта технология позволяет получить жидкостный аэрозоль с дисперсностью в пределах 5 ... 30 мкм и обеспечить формирование заданной формы факела аэрозоля. Получены результаты экспериментальных исследований процесса ультразвукового распыления [17, 19]. Предприняты попытки аналитического описания указанного технологического процесса [18]. Одним из вариантов аналитического исследования является анализ энергетических составляющих механизма ультразвукового распыления.

Целью предлагаемой статьи является разработка энергетической модели процесса ультразвукового распыления в тонком слое.

### ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Рассматривая известные математические модели [10, 20], которые описывают процесс ультразвукового распыления в тонком слое, следует отметить, что они не учитывают ряд важных факторов, которые существенно влияют на параметры процесса. Так, например, не учтено влияние окружающей среды или отдельные затраты энергии, связанные с реологическими особенностями распыляемой жидкости. Поэтому для углубленного анализа баланса энергий в процессе ультразвукового распыления целесообразным будет составить расширенную энергетическую модель процесса.

Реализация ультразвукового распыления жидкости происходит за счет подачи синусоидального электрического сигнала на пьезоэлектрический преобразователь, который,

вследствие обратного пьезоэффекта, возбуждает стоячие продольные механические колебания в резонансной системе диспергатора. При этом поверхность распыления размещают в пучности волны перемещения. Для достижения, необходимой для начала процесса распыления, амплитуды колебаний применяют акустические трансформаторы колебательной скорости. На распылительную поверхность подают жидкость, которая покрывает ее слоем толщиной 0,3 ... 1 мм. На поверхности слоя жидкости покрывающего нормально вибрирующую поверхность, образуются капиллярные волны (рис. 1).

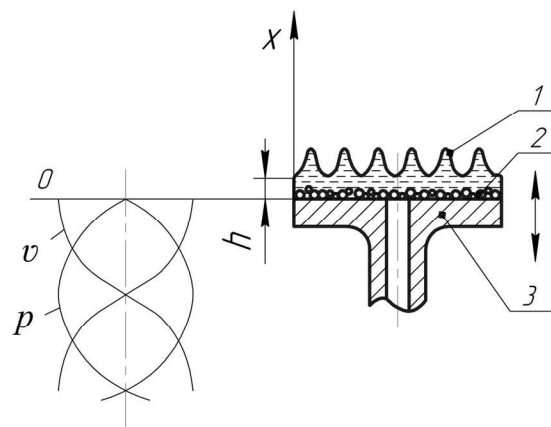


Рис.1 Схема образования капиллярных волн и кавитационного слоя при распылении в тонком слое (1 - капиллярные волны; 2 - кавитационный слой; 3 - излучающая торцевая поверхность диспергатора)

Fig.1. A chart of formation of capillary waves and cavitation layer when spraying in a thin layer (1 – capillary waves; 2 – cavitation layer; 3 – radiating butt-end surface dispersant)

При разрушении капиллярных волн, вследствие потери ими устойчивости, с гребней волн срываются и улетают в пространство близкие к монодисперсным капельки аэрозоля. При этом часть подведенной энергии расходуется на образование капли аэрозоля, часть расходуется на обеспечение полета капли и удержание ее сферической формы, а часть излучается с поверхности жидкости в газовую среду. Поэтому уместным будет записать уравнение энергетического баланса в общем виде как:

$$E_{подв} = E_{обр} + E_{капли} + E_{з.с.}, \quad (1)$$

где  $E_{подв}$  - подведенная акустическая энергия;

$E_{обр}$  - энергия, затрачиваемая на образование капли аэрозоля;  $E_{капли}$  - энергия на обеспечение полета капли и поддержку сферичности ее формы;  $E_{з.с.}$  - энергия, излучаемая с поверхности слоя жидкости в газовую среду.

Состав энергий, которые расходуются на образование капли аэрозоля, может быть представлен согласно схеме (рис. 2).

В общем случае энергия, которая расходуется на образование и разрушение капиллярных волн может включать две составляющие – энергию, затрачиваемую на образование и поддержку кавитации в слое жидкости на вибрирующей поверхности ( $E_{кав}$ ) и энергию, затрачиваемую на образование капиллярных волн ( $E_{к.в}$ ).

Для анализа энергии  $E_{кав}$  целесообразно принимать во внимание следующие составляющие:

$$E_{кав} = E_{коз} + E_{в.т} + E_{дисп} + E_{т.м}, \quad (2)$$

где  $E_{коз}$  - энергия, расходуемая на преодоление когезии;

$E_{в.т}$  - энергия, затрачиваемая на преодоление вязкого трения в слое жидкости;

$E_{дисп}$  - энергия, затрачиваемая на диспергирование;  $E_{т.м}$  - энергия, которая тратится на нагрев жидкости.

Тогда, общий баланс энергий, задействованных в процессе ультразвукового распыления в тонком слое, можно записать как

$$E_{подв} = E_{коз} + E_{в.т} + E_{дисп} + E_{т.м} + E_{к.в} + E_{капли} + E_{з.с.} \quad (3)$$

При расчетах и конструировании ультразвуковых диспергаторов для распыления в тонком слое выбором геометрических размеров обеспечивают резонансный режим работы, т.е. режим, при котором по длине диспергатора в направлении нормальном к поверхности распыления устанавливается стоячая волна упругой деформации. При этом выбором диаметра поверхности распыления и поперечных размеров диспергаторов обеспечивают поршневой характер колебаний. Поэтому правомерным можно считать рассмотрение плоских стоячих волн гармонических колебаний. Тогда в волне деформации средние по времени значения плотностей потенциальной  $\bar{E}_{пот}$  и кинетической  $\bar{E}_{кин}$  энергий можно записать как [1, 2]:

$$\bar{E}_{пот} = \frac{1}{8} \frac{1}{\rho_k c_k^2} p_k^2 (1 - \cos 2kx);$$

$$\bar{E}_{кин} = \frac{1}{8} \frac{1}{\rho_k c_k^2} p_k^2 (1 + \cos 2kx),$$

где  $\rho_k$ ,  $c_k$  - соответственно плотность и скорость звука в материале, из которого

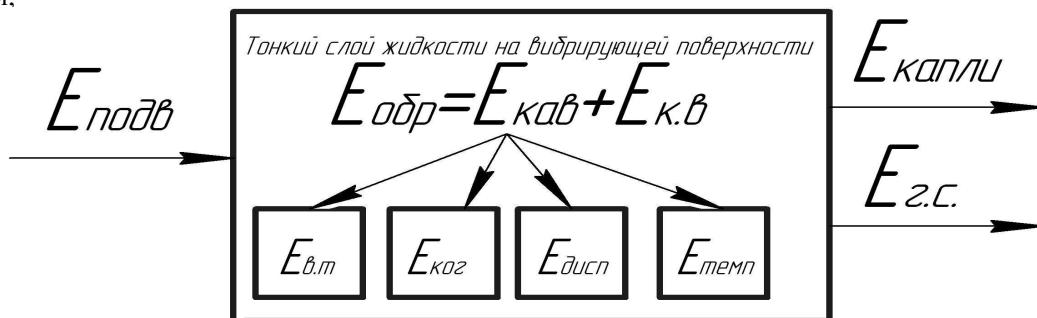


Рис. 2 Схема затрат энергии при осуществлении процесса ультразвукового распыления в тонком слое

Fig.2. A chart of charges of energy is during realization of process of ultrasonic spraying in a thin

изготовлен трансформатор колебательной скорости;  $k$  - волновое число;  $P_k$  - амплитуда колебательного давления в волне деформации ступени малого диаметра трансформатора;  $X$  - расстояние от узла в волне деформации.

В принятой системе отсчета (рис.1) для плоской стоячей гармонической волны давление можно выразить зависимостью

$$p = p_k \sin kx \cdot \cos \omega t ,$$

где  $\omega = 2\pi f$  - круговая частота.

Тогда, полные значения плотностей потенциальной и кинетической энергий будут иметь вид:

$$\tilde{E}_{пот} = \frac{1}{2} \frac{1}{\rho_k c_k^2} p_k^2 \sin^2 kx \cdot \cos^2 \omega t ;$$

$$\tilde{E}_{кин} = \frac{1}{2} \frac{1}{\rho_k c_k^2} p_k^2 \cos^2 kx \cdot \cos^2 \omega t . (4)$$

Отсюда следует, что в волне деформации по длине диспергатора значение плотности полной звуковой энергии  $\tilde{E}_{дисп} = \tilde{E}_{кин} + \tilde{E}_{пот}$  с учетом уравнений (4) имеет вид:

$$\tilde{E}_{дисп} = \frac{1}{2} \frac{1}{\rho_k c_k^2} p_k^2 \cos^2 \omega t . (5)$$

Следует отметить, что на торцевой рабочей поверхности диспергатора образуется узел давления, в котором наблюдается максимум кинетической и минимум потенциальной энергий.

Поскольку торцевая распылительная поверхность диспергатора покрыта тонким слоем жидкости, часть ультразвуковой энергии передается ей.

Учитывая нормальное падение плоской волны на плоскую границу раздела двух сред, коэффициент  $\zeta_1$  передачи энергии от диспергатора в жидкость можно определить как

отношение волновых сопротивлений контактирующих сред:

$$\zeta_1 = \frac{\rho_k c_k}{\rho_p c_p} , (6)$$

где  $\rho_p$  та  $c_p$  - соответственно плотность и скорость звука в жидкости которая, распыляется.

Учитывая уравнения (5) и (6), звуковая энергия  $E_{подв}$ , которая передается в тонкий слой жидкости, находящийся на вибрирующей поверхности диспергатора, может быть записана как

$$E_{подв} = \zeta_1 S_\delta h_p \tilde{E}_{дисп}$$

или

$$E_{подв} = \frac{1}{2} \frac{S_\delta h_p}{\rho_p c_p c_k} p_k^2 \cos^2 \omega t , (7)$$

где  $S_\delta$  - площадь излучающей поверхности диспергатора;  $h_p$  - толщина слоя жидкости.

Следует отметить, что толщина слоя, покрывающего излучающую торцевую поверхность ультразвукового диспергатора, довольно маленькая, а сама поверхность плоская. Поэтому будем считать, что в жидкость излучаются плоские волны длиной  $\lambda$ . В этом случае размеры излучающей поверхности обеспечивают справедливость соотношения

$$h_p < \frac{S_\delta}{\lambda} . (8)$$

Выполнение этого соотношения подтверждает, что волна, которая излучается, плоская по всей толщине слоя жидкости.

При реализации процесса ультразвукового распыления используются определенные

диапазоны параметров: толщина слоя жидкости изменяется от 0,3 до 0,8 мм, а частота возбуждения изменяется от 20 до 100 кГц. Указанные значения не позволяют образоваться стоячей волне деформации по толщине слоя жидкости. Поэтому звуковая энергия будет переноситься плоской бегущей волной деформации от поверхности диспергатора, к свободной поверхности слоя жидкости, с которой происходит процесс распыления. Учитывая, что давление в бегущей плоской гармонической волне определяется зависимостью

$$p = p_m \cos(\omega t - kx),$$

где  $p_m$  - амплитуда колебательного давления в распыливаемой жидкости, а  $E_{кин} = E_{пот}$ , полная энергия, переносимая волной по всему слою жидкости, будет иметь вид

$$\begin{aligned} E_{бег.в} &= \frac{S_d h_p}{\rho_p c_p} p_m^2 \cos^2(\omega t - kx) = \\ &= \frac{S_d h_p}{\rho_p} v_m^2 \cos^2(\omega t - kx), \end{aligned} \quad (9)$$

где  $v_m$  - амплитуда колебательной скорости в распыливаемой жидкости.

Сопоставив зависимости (7) и (9) при  $x = 0$ , т.е. для точки, совпадающей с поверхностью диспергатора, получим

$$p_m^2 = \frac{1}{2} \frac{c_p}{c_k} p_k^2. \quad (10)$$

Тогда, подставляя выражение (10) в (9), уравнение для подведенной к слою жидкости энергии будет иметь вид

$$E_{подв} = \frac{1}{2} \frac{S_d h_p}{\rho_p c_p c_k} p_k^2 \cos^2(\omega t - kx) \quad (11)$$

Для стоячей волны в принятой ранее системе отсчета (рис.1) справедлива зависимость

$$v = \frac{p_k}{\rho_k c_k} \cos kx \cdot \sin \omega t, \quad (12)$$

где  $v$  - колебательная скорость в ультразвуковом трансформаторе.

Учитывая, что  $v = \frac{d\varepsilon}{dt}$ , где  $\varepsilon$  - величина деформации материала концентратора, а на торцевой поверхности, которая излучает, в точке  $x = 0$  справедлива зависимость  $\varepsilon = \varepsilon_k \sin \omega t$ , где  $\varepsilon_k$  - амплитуда колебаний излучающей поверхности, получим

$$v = \varepsilon_k \omega \cos \omega t. \quad (13)$$

Решая совместно выражения (12) и (13) при условии  $x = 0$  можно записать

$$p_k = \varepsilon_k \omega \rho_k c_k \operatorname{ctg} \omega t. \quad (14)$$

Подставив выражение (14) в (11), уравнение для энергии, которая передается с излучающей поверхности в слой жидкости, окончательно можно записать в виде

$$\begin{aligned} E_{подв} &= \frac{1}{2} \frac{S_d h_p (\varepsilon_k \omega \rho_k)^2 c_k}{\rho_p c_p} \times \\ &\times \operatorname{ctg}^2 \omega t \cdot \cos^2(\omega t - kx) \end{aligned} \quad (15)$$

При увеличении амплитуды колебаний вибрирующего торца диспергатора на поверхности жидкости образуются стоячие капиллярные волны. Когда силы поверхностного натяжения не в состоянии удерживать целостность вытянутой капиллярной волны, ее гребень разрушается и с него срывается капля аэрозоля.

На отрыв капли затрачивается определенная энергия  $E_{капли}$ , которая определяется зависимостью [18]

$$E_{капли} = 4\pi\bar{d}_к^2\sigma, \quad (16)$$

где  $\bar{d}_к$  - средний диаметр капли аэрозоля.

При этом средний диаметр капли аэрозоля находится по формуле [18]

$$\bar{d}_к = a \cdot \left( \sqrt[3]{\frac{8\pi\sigma}{\rho_p f^2}} \right), \quad (17)$$

где  $a \approx 0,3$ .

С учетом зависимостей (16) и (17) выражение для энергии  $E_{капли}$  окончательно примет вид

$$E_{капли} = \frac{16a^2\sqrt[3]{(\pi\sigma)^5}}{(\sqrt[3]{\rho_p f^2})^2}.$$

Ультразвуковая энергия, которая дошла до поверхности слоя жидкости, частично излучается в газовую среду.

При малой толщине рассматриваемого слоя жидкости принятое ранее предположение о нормальном падении плоской волны на плоскую границу раздела будет справедливым и для границы раздела жидкость-газовая среда.

Тогда можно считать, что энергия, излучаемая с поверхности жидкости в газовую среду, определяется зависимостью

$$E_{г.с.} = \zeta_2 (E_{подв} - E_{обр} - E_{капли}) = \frac{2\rho_г c_г}{\rho_г c_г + \rho_p c_p} (E_{подв} - E_{обр} - E_{капли}),$$

где  $\zeta_2$  - коэффициент передачи энергии от жидкости к газовой среде;  $\rho_г$  и  $c_г$  - соответственно плотность и скорость звука в газовой среде.

В свою очередь, энергию когезии  $E_{коз}$ , затрачиваемую на поддержание связи между молекулами жидкости, можно представить зависимостью [16]

$$E_{коз} = \left( \frac{\Delta U_{p.i.вип}}{V_{p.i.}} \right)^{1/2},$$

где  $\Delta U_{p.i.вип}$  - молярная энергия испарения чистой жидкости  $i$ ;  $V_{p.i.}$  - ее молярный объем.

Энергия вязкого трения  $E_{в.т.}$ , обусловленная действием сил вязкого трения, пропорциональна скорости относительного движения и может быть выражена зависимостью [13]

$$E_{в.т.} = \frac{v \cdot S}{h} \cdot l,$$

где  $S$  - площадь;  $v$  - скорость относительного движения;  $h$  - расстояние между поверхностями;  $l$  - длина.

Что касается энергии, которая расходуется на нагрев жидкости ( $E_{t^\circ}$ ), то ею можно пренебречь, поскольку она  $\lim_{E_{t^\circ} \rightarrow 0} (E_{t^\circ}) = 0$ .

Это объясняется тем, что жидкость на распыливаемой поверхности непрерывно возобновляется благодаря постоянной подачи жидкости. Поэтому слой жидкости не успевает прогреваться до такой температуры, которая влияла бы на процесс распыления.

На диспергирование [15], то есть распыление жидкой фазы нужно потратить определенное количество энергии. Эта энергия состоит из поверхностной энергии мелкодисперсной фазы, которая только что образовалась, и механической энергии [9]:

$$E_{дисп} = E_{повер} + E_{механ}.$$

При этом

$$E_{повер} = U - u^A V_A - u^B V_B,$$

где  $U$  – внутренняя энергия системы;  $u^A, u^B$  – плотности энергии фаз А и В;  $V_A, V_B$  – объемы фаз А и В.

$$E_{механ} = E_k = \frac{mv^2}{2}.$$

То есть

$$E_{дисп} = U - u^A V_A - u^B V_B + \frac{mv^2}{2}.$$

При незначительной амплитуде колебаний вибрирующей поверхности диспергатора слой жидкости движется как одно целое с вибрирующей поверхностью. Однако при увеличении амплитуды колебаний вследствие инерционных свойств жидкости на ее поверхности образуются стоячие капиллярные волны (рис. 1).

Выведенная из состояния равновесия, жидкость приобретает в поле тяготения и в поле силы поверхностного натяжения некоторую потенциальную энергию. В этом случае учитывается свободная энергия в том смысле, как она понимается в термодинамике, то есть свободная энергия Гельмгольца. До тех пор, пока эта энергия не перейдет в тепло, жидкость не может успокоиться. В ней возбуждается колебательное движение, которое способствует возникновению капиллярно-гравитационных волн [12, 14].

$$E_{к.в} = E_{своб} = U - TS_{ент}$$

где  $U$  – внутренняя энергия системы,  $T$  – температура;  $S_{ент}$  – энтропия.

## ВЫВОДЫ

Полученный баланс энергий позволяет оценить значимость влияния отдельных параметров технологического процесса на характеристики

конечного продукта – жидкостного мелкодисперсного аэрозоля. Этот анализ позволит предложить пути повышения эффективности технологии ультразвукового распыления в тонком слое и выяснить пределы допустимого изменения реологических характеристик распыляемых жидкостей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гольдберг З.А., 1968. Давление звука. Часть II. – В кн.: Мощные ультразвуковые поля. – М.: Наука – С.49-87.
2. Исакович М.А., 1973. Общая акустика. – М., Наука. – 495 с.
3. Луговский, О. Ф., Ляшок А. В., Пижигов Ю. О., 2011. Спосіб та пристрої для отримання рідинного аерозолі // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія машинобудування. – № 61, том 1. – С. 107 – 113.
4. Луговской, А.Ф., 2000 Ультразвуковое распыление в системах подготовки топливно-воздушной смеси // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Зб. Наук. Пр.. Кіровоградського держ. Техн. уні-ту. – Вип. 7. – С. 30-33.
5. Луговский, О.Ф., 1999. Отримання дрібнодисперсного аерозолі шляхом ультразвукового диспергування // Вестн. Нац. техн. ун-та України «КПИ». Машиностроение. – Вип. 34. – С. 193– 202.
6. Луговский, А.Ф., Чухраев Н.В., 2007. Ультразвуковая кавтация в современных технологиях: монограф. – К. 2007. – 244 с. – ISBN 966-594-927-6.
7. Луговский, О. Ф., Яхно О. М., 2004. Ультразвукове розпилення рідини та можливості його застосування в технологічних процесах // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. Всеукраїнський збірник наукових праць. – 2004. – Вип. 64. – С. 49-55.
8. Ляшок А.В. Ультразвукове розпилення рідини у мехатронних системах штучного мікроклімату / А.В. Ляшок, О.Ф. Луговський // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Промислова гідраліка і пневматика» – №4 (34) 2011. – С. 20– 25.
9. Молекулярная физика. , 1973 Изд. 2-е, доп. Учеб. пособие для университетов. – М.: «Высшая школа». – С. 322-323.
10. Новицкий Б.Г., 1983. Применение акустических колебаний в Химико-технологических процессах (Процессы и аппараты химической и нефтяной технологии). – М.: Химия. – 192 с.
11. Осадчук П., 2010.: Вплив ультразвукового поля на процес очищення



соняшникової олії// MOTROL. - №12 С, С. 309 – 314.

12. Руководство к лабораторным занятиям по физике. 1973. Под ред. Л.Л. Гольдина, изд. 2-е, Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», – С. 209-213

13. Савельев И.В., 1970. Курс общей физики. Механика, колебания и волны, молекулярная физика – М.: Изд. «Наука», Главная ред. физико-математической лит-ы. Том 1. – 512с.

14. Сивухин Д.В., 2005. Общий курс физики: Учеб. пособие: Для вузов. В 5 т. Т.П. Термодинамика и молекулярная физика. – 5-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ. – 544 с. ISBN 5-9221-0601-5.

15. Уминский С., Яковенко А. 2012.: Гидродинамическое диспергирование дизельных топлив для снижения нагарообразования// MOTROL. - № 14-1, С. 34 – 37.

16. Физическая химия. Теоретическое и прикладное руководство. Учеб. пособие для вузов. 1987. Под редакцией академика Б.П. Никольского. 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, - С. 249-250.

17. Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Шалунова А.В., 2010. Ультразвуковое распыление жидкостей: монография – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та. – 250 с.

18. Экнадиосянц О.К., 1970. Получение аэрозолей. - В кн.: Физические основы ультразвуковой технологии. Под ред. Л.Д. Розенберга. - М.: Наука. – С. 339-392.

19. Bisa K., Dirnagl K., Esche R. Siemens Z., 1954. Zerstaubung von Flüssigkeiten mit Ultraschall. – 28, 8, 314.

20. Peskin R.L., Raco R.J., 1963. Ultrasonic Atomization of Liquids. – JASA. – 35. - N 9. - 1378.

21. Shushlyakov A., Ovcharenko V., Shushlyakov D., Krivonosov G., 2009.: Energy and environmental efficiency promotion of thermal power generators// MOTROL. - №11A, С. 54 – 59.

ENERGY MODEL PROCESS OF ULTRASOUND SPRAYING IN A THIN LAYER

**Summary.** The offered chart of charges of energy is during realization of process of ultrasonic spraying in a thin. Well-grounded and described energies which acting on thin layer of liquid at ultrasonic spraying, and extended described components of existing energy. Analytical expressions are resulted for the involved energies. The presented balance of energies in the process of ultrasonic spraying.

**Key words:** ultrasonic spraying, energy model, energy, thin layer, dispergator



## ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОДУКТОВ ГАЗИФИКАЦИИ СОЛОМЫ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ СУШКИ ЗЕРНОВЫХ

Савелий Кухарец, Владислав Шубенко, Анна Голубенко, Наталия Цивенкова

Житомирский национальный агроэкологический университет. г. Житомир  
адрес: бульвар Старый 7, Житомир, 10008, Украина  
e-mail: [nika114@yandex.ru](mailto:nika114@yandex.ru), [thyvenkova@yandex.ru](mailto:thyvenkova@yandex.ru)

**Аннотация.** Приведен анализ ресурсного обеспечения технологических процессов сушения зерна за счет энергетического использования побочной продукции – соломы, совершаемого посредством газификации и сжигания генераторного газа. Приведено экономическое обоснование внедрения газогенераторного оборудования в процесс сушения зерновых.

**Ключевые слова:** зерно, солома, сушение, газификация, энергоэффективность, брикеты, пеллеты, гранулы.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ В ОБЩЕМ ВИДЕ

Сушение зерновых является важным технологическим процессом от показателей исполнения которого зависит сохранность сформированного качества объекта сушения и снижение себестоимости конечного продукта. Задача же использования соломы для сушки зерна остается открытой [5, 18]. Это связано с тем, что например, при производительности сушилки 20 т/час нужно обеспечить сжигание не менее 500 кг/час соломы при тепловой мощности теплогенератора 2000 кВт. Эта техническая задача, на наш взгляд, не может быть решена без разработки технических средств для газификации соломы. Потому схема технологического процесса сушения зерновых с использованием продуктов газификации соломы требует согласования технологических и конструктивных параметров оборудования. Кроме того необходимо определить граничные условия рационального использования технологии газификации.

Практика газификации соломы показывает, что состав генераторного газа значительно зависит от агротехнических характеристик зерновых культур, вида подготовки соломы к газификации, типа газогенератора по характеру процесса газификации, конструкции самого газогенератора и правильности выбора режимов газификации [2, 11]. Очевидно, что к химическому составу газа, который будет использоваться в двигателях внутреннего сгорания, ставят более высокие требования, чем к газу предназначенному для прямого сжигания в котлах и горелках [14]. Поэтому использование генераторного газа в технологическом процессе сушения зерновых может оказаться одним из путей решения вышеуказанной задачи.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Сушение зерновых является важным технологическим процессом, необходимым для качественного и полноценного их хранения. По способу передачи тепла к зерну процесс сушки может быть: конвективным, кондуктивным, радиационным (излучением) и при помощи электротока. Существует также способ сушения без передачи тепла – адсорбционно-контактный.

Для сохранения пищевых и семенных качеств зерновых при дальнейшем их хранении важным является соблюдение технологических режимов сушения.

Сушение зерновых за счет сжигания соломы специфично из-за низкой плотности и неравномерности полученного теплового потока, что не позволяет обеспечить качественный результат в процессе сушения зерна [19, 10, 8, 15].

Режимы сушения могут существенно отличаться не только в зависимости от культуры но и от дальнейшего предназначения зерна. Так, например, сушение зерна кукурузы для крохмало-паточной промышленности проводят при нагревании зерна не выше 460°C [12, 19].

К процессу сушения ставят и повышенные требования по пожарной безопасности. Особенно важно это для масличных культур, например рапса [17].

В Украине солома сельскохозяйственных культур составляет наибольшую долю в структуре потенциала биомассы для энергетических нужд – 43%. Ежегодное ее производство достигает около 7,62 млн. т., из которых только 20% можно использовать в энергетических целях, тогда как в странах ЕС этот показатель достигает 35% [4, 3, 9]. Очевидно, что использование биотоплива для обеспечения энергетической автономности сельскохозяйственного производства (рис.1) связано, в первую очередь, с необходимостью эффективного доведения такого топлива до

концентрированного состояния [4, 13]. Исходя из вышесказанного на основе соломы можно создать мощную энергосырьевую базу с дальнейшим ее использованием в газогенераторных установках.

В Украине производятся газогенераторные установки для газификации соломы, которые можно агрегатировать с сушилками, и использовать генераторный газ для сушения зерновых, а также, прессовое оборудование для производства гранул и брикет соломы [7, 16]. Использование же химико-термической конверсии соломы в агроэкосистемах с производством генераторного газа дает возможность обеспечить частичную энергетическую автономность производства с сохранением плодородности грунтов [6].

### ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Установление рационального состава линии для сушения зерновой продукции с использованием газогенераторных технологий; определение преимуществ использования таких технологий и границ их практического применения.

### ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Процесс сушения зерновых, его особенности, параметры, которые определяют выбор состава технологического комплекса и исходные характеристики соломы для прямого сжигания и газификации (химический состав, состав и количество загрязняющих компонентов, температурные условия, влажность газа, теплоту сгорания генераторного газа).

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проведения исследования использовано комплекс методов научного исследования: сравнительный, теоретический и статистический методы, системный метод анализа и синтеза, формальная и аналитическая оптимизация системы использования генераторного газа для сушки зерновых.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Обобщенная схема энергетического использования соломы при помощи газогенераторной установки изображена на рис. 1.

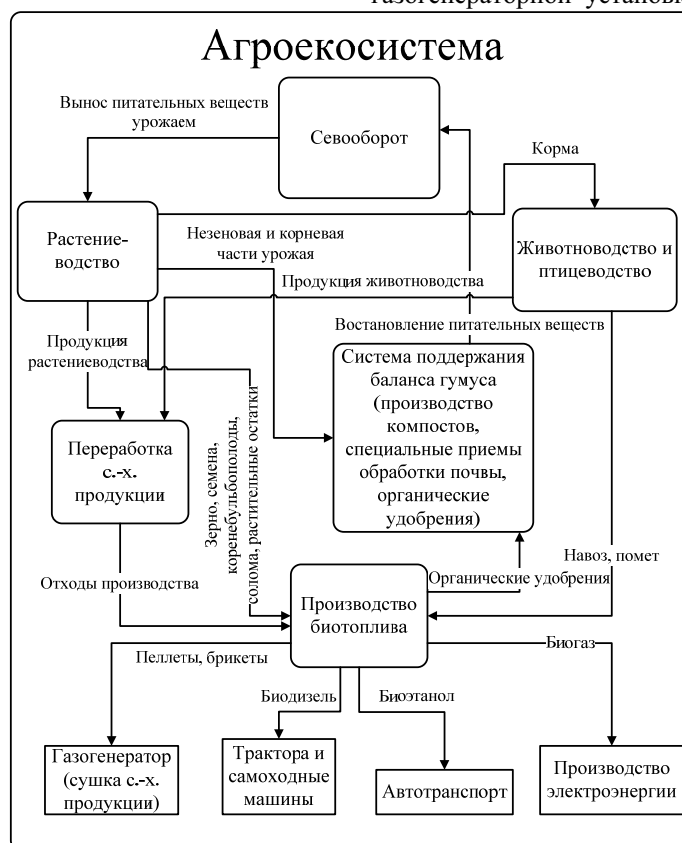


Рис. 1. Структурная схема функционирования агроэкосистемы  
Fig. 1 Structural scheme of agroecosystem functioning

Согласно приведенной схемы сбор соломы является первым звеном технологического процесса ее подготовки к газификации. Как показывают отдельные исследования эффективность использования незерновой части урожая в качестве

энергоносителя значительно зависит от затрат при сборе соломы. Так увеличение затрат на 20% приводит к возрастанию стоимости энергоносителя на 10-15%. В Украине приобрели распространение такие технологии сбора соломы зерновых культур:

измельчение зерноуборочным комбайном, транспортирование тракторными прицепами, стогование с формированием стога; копнирование зерноуборочным комбайном, стягивание тросовой волокушей на край поля, стогование; валковая технология сбора соломы.

Однако все чаще применяют валковую технологию, основным преимуществом которой есть возможность складирования соломы под укрытие, что позволяет повысить качество процесса подготовки соломы к сжиганию и уменьшить транспортные затраты. В Украине для заготовки прессованной соломы применяют в основном прицепные пресс-собиратели рулонного типа собственного производства и импортные. Тюкование значительно уменьшает объем соломы и позволяет механизировать ряд операций при складировании и транспортировке соломы, а также при обслуживании котлов ее прямого сжигания.

Проведенные исследования экономической эффективности сбора соломы свидетельствуют, что минимальные капиталовложения и приведенные затраты получены при сборе соломы в рулоны.

Следующим, согласно рис. 2, процессом является транспортирование соломы от места сбора до пункта ее подготовки, хранения и дальнейшего использования. Транспортирование связано с расходом топлива, что удорожает использование соломы в качестве биотоплива. Следовательно, ограничивающим фактором в данном случае есть расстояние транспортирования (преимущественно до 30 км).

Подготовка соломы к сжиганию содержит несколько традиционных стадий: сушение, измельчение, уплотнение. На начальном этапе переработки, как правило, сталкиваемся с соломой в виде рулонов и тюков, при этом плотность соломы значительно ниже плотности тирсы и щепы. Учитывая, что преимущественное количество соломы собирается механизированным способом, в соломе может присутствовать грунт, который негативно влияет как на процесс подготовки к сжиганию, так и непосредственно на газификацию. При значительном загрязнении соломы предпочтение следует уделять ее прессованию и брикетированию, при незначительном – пеллетированию (гранулированию).

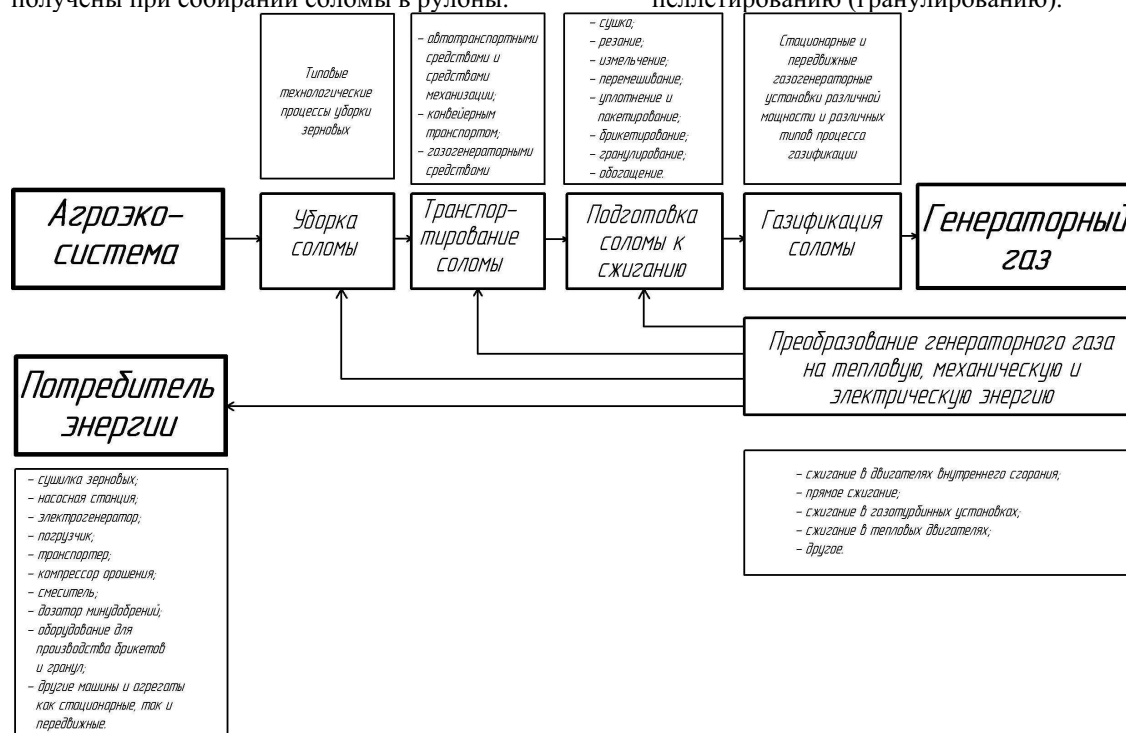


Рис.2 Обобщенная схема технологического процесса энергетического использования сырья растительного происхождения

Fig. 2 The generalized scheme of technological process of biomass energy use

Газификация соломы без предварительной ее подготовки снижает эффективность этого процесса и усложняет загрузку газогенератора.

Газификацию соломы следует проводить в газогенераторах специальной конструкции, которая учитывает способ подготовки топлива, или в модернизированных газогенераторах [1]. Использование соломенных брикетов и пеллет допускает использование газогенераторов для газификации древесины с минимальными

конструктивными изменениями – заменой камеры газификации с фурменным поясом. Однако, для достижения наилучшего качества генераторного газа, предпочтение следует отдавать проектированию газогенераторной установки под конкретные условия.

Приведенная на рис. 2 схема очерчивает широкие границы использования соломы для обеспечения разными видами энергии локальных потребителей, и служит основой для модернизации

существующего или создания нового энергетического комплекса с использованием сырья растительного происхождения.

Одним из наиболее энергоемких процессов переработки зерновых является их сушка. Учитывая то, что солома – один из побочных продуктов производства зерна и ее количество в определенных границах пропорционально количеству полученного товарного продукта, логично проектировать технологический процесс сушения зерновых с использованием собственной соломы. Рассмотрим технологический процесс использования соломы для сушки зерновых начиная с собирания с дальнейшей ее подготовкой к газификации в газогенераторных установках и получением газа. Схема такого процесса представлена на рис. 3.

Для построения схемы, приведенной на рис. 3 был избран распространенный метод сбора соломы с поля – тюковым пресс-собирателем с дальнейшей ее транспортировкой с поля до места подготовки к газификации. Из соломы производим топливные гранулы (пеллеты), которые загружаются в газогенератор.

Учитывая использование технологий газификации для сушки зерновых уместно выбрать конвективный и кондуктивный способы, поскольку именно эти способы позволяют более полно использовать потенциал газификации при использовании побочной продукции.

Важным требованием к процессу сушения есть стабильность температуры агента на протяжении всего цикла, что ставит дополнительные требования к управляемости процесса получения тепла и регулировки его подачи в сушильную камеру. В зависимости от влажности зерна процесс сушки длится на протяжении 20...36 часов. При этом при температуре агента сушения в пределах 120...140°C потребляется около 5 кВт/час на 1 кг испаряемой влаги.

Основной особенностью схемы, (рис. 2) является использование выделенной технологическим оборудованием побочной энергии и использование части генераторного газа в процессе производства пеллет. Тепловая энергия, которая выделяется при газификации, при охлаждении генераторного газа и при сжигании его в ДВС, используется для подсушивания соломы и предварительного подсушивания зерна.

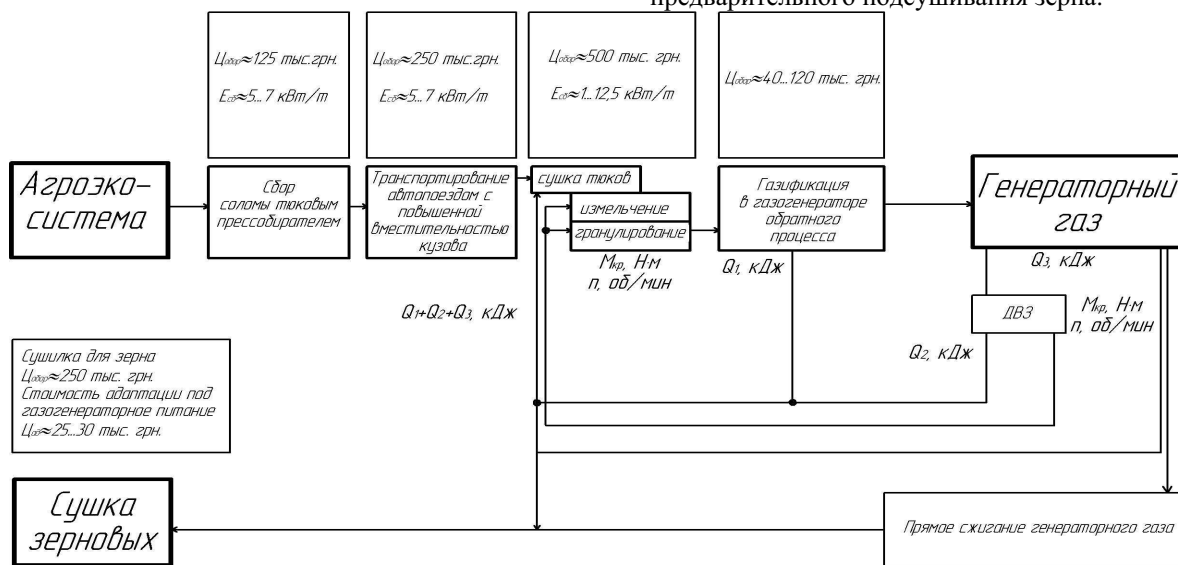


Рис.3. Схема технологического процесса сушки зерновых с энергетическим использованием собственного сырья растительного происхождения  
 Fig. 3 The scheme of grain drying technological process with energetical using of own biomass

Возможные проблемы использования генераторного газа для сушки зерновых, связаны с нестабильностью процесса газификации и сменой состава газа на протяжении цикла. Также изменяются температурные параметры газификации и ее продуктов, в том числе и количество теплоты, выделяемой при охлаждении генераторного газа. Частично эта проблема может быть решена использованием электрических подогревателей, которые питаются от электрогенератора, работающего на генераторном газе.

Еще одним важным условием реализации схемы, приведенной на рис. 3 является сохранение энергетического баланса внутри системы. Потребность энергии не должна превышать энергетического потенциала соломы, образующейся при производстве необходимого объема зерновых, с учетом энергозатрат на их транспортирование и подготовку.

Учитывая выше сказанное, энергоемкость соломы для энергетических нужд:

$$\mathcal{E}E = \mathcal{E}E_1 + \mathcal{E}E_2 + \mathcal{E}E_3 + \mathcal{E}E_4 \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}E$  – общая энергоемкость соломы для энергетических нужд, МДж/т;  $\mathcal{E}E_1$  – энергоемкость сбора соломы, МДж/т;  $\mathcal{E}E_2$  – энергоемкость транспортирования соломы, МДж/т;  $\mathcal{E}E_3$  – энергоемкость подготовки соломы к дальнейшему использованию в энергетических целях (конверсии), МДж/т;  $\mathcal{E}E_4$  – энергоемкость хранения соломы от сбора до начала использования в качестве энергоносителя, МДж/т.

Приведенная стоимость использования соломы в энергетических целях:

$$C = \sum Z_i + \sum A_i + \sum 3P_i + \sum \mathcal{E}_i \quad (2)$$

где  $C$  – приведенная стоимость использования соломы в энергетических целях, грн.;  $Z_i$  – другие затраты по каждому из этапов энергетического использования соломы, грн.;  $A_i$  – амортизационные отчисления соответствующей группы оборудования на каждом из этапов: сбор, транспортировка, хранение, подготовка, грн.;  $3P_i$  – соответствующая заработная плата, грн.;  $\mathcal{E}_i$  – затраты на энергоносители, грн.

$$A_i = \frac{H_i \cdot B_i}{100\%} \quad (3)$$

где  $A_i$  – амортизационные отчисления соответствующей группы оборудования на каждом из этапов: сбор, транспортировка, хранение, подготовка, грн.;  $B_i$  – балансовая стоимость соответствующей группы оборудования, грн.;  $H_i$  – норма амортизации для соответствующей группы основных средств, % ( $H_{\text{трансп}}=25\%$ ;  $H_{\text{оборуд}}=15\%$ ;  $H_{\text{строений}}=5\%$ );

В целом использование соломы для сушки зерновых целесообразно при таких условиях:

$$\begin{cases} C_{\text{соломы}} \leq C_{\text{традиц}} \\ (Q - Q_{\text{подгот}}) \cdot \eta \geq Q_{\text{суш}} / k_{\text{ост}} \end{cases} \quad (4)$$

где  $C_{\text{соломы}}$  и  $C_{\text{традиц}}$  – стоимость сушки зерна соответственно при помощи собственной соломы и традиционными способами, грн.;  $Q$  – энергия выделяющаяся при энергетическом использовании соломы, МДж;  $Q_{\text{подгот}}$  – энергия затрачиваемая на подготовку соломы для использования энергетических целях, МДж;  $\eta$  – коэффициент полезного действия оборудования;  $Q_{\text{суш}}$  – энергия необходимая для сушки зерна, МДж;  $k_{\text{ост}}$  – коэффициент соломистости (количество растительных остатков припадающих на единицу массы собранного зерна).

Для сушки зерновых с использованием газогенераторных технологий можно откорректировать уравнение теплового баланса процесса сушки согласно рис. 2 с учетом тепла выделяющегося при газификации:

$$(Q + Q_1 + Q_2 + Q_3 - Q_{\text{подг}}) \cdot \eta \geq Q_{\text{суш}} / k_{\text{ост}} \quad (5)$$

где  $Q$ ,  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$  – тепловая энергия в МДж, выделяющаяся в соответствующих элементах газогенераторной установки: газогенераторе, двигателе внутреннего сгорания, системе фильтрации и охлаждения генераторного газа.

Процессы газификации соломы в подготовленном виде, т.е. в виде брикета или топливных гранул, мало чем существенно отличаются от газификации других видов растительной биомассы, подготовленной соответствующе. В то же время солома имеет повышенную зольность, что вызывает определенные трудности, особенно в газогенераторах с неподвижным слоем топлива. При газификации солома менее склонна к спеканию, однако в слое топлива часто образуются неравномерности выгорания топлива специфически расположенные в поперечном сечении, которые можно объяснить гидродинамическими особенностями прохождения газов дутья через слой свободно насыпанного материала. Большое влияние на выше упомянутые явления имеет насыпная плотность и пористость топливного слоя, неравномерность химического состава топлива и его физико-механических свойств. Именно поэтому важным для обеспечения постоянных характеристик генераторного газа и стабильности процесса газификации в целом является возможность выравнивания состава слоя топлива, особенно в зоне горения и газификации, прежде всего за счет механического влияния.

## ВЫВОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Из выражения (5) следует, что граничные условия для прямого сжигания не исполняются, потому что использование данной технологии для сушки зерновых ограничено необходимостью привлечения добавочного количества топливной биомассы, что в большинстве случаев экономически необоснованно. Использование генераторного газа газифицированной соломы с учетом использования скорректированного теплового баланса делает процесс сушки зерновых возможным в границах использования собственной соломы, доступной для энергетического использования. Это происходит как посредством повышения теплотворной способности генераторного газа в сравнении с прямым сжиганием соломы, так и посредством добавочных резервов энергетических потоков, которые образуются в предложенной схеме.

При газификации сырья растительного происхождения, в том числе и соломы, следует учитывать отличия их химических и физико-механических характеристик, зависящих от вида растений, способа выращивания и сбора, метеорологических условий на протяжении всего периода развития растений и во время сбора сырья растительного происхождения; способов режимов и длительности их хранения. Это ставит определенные условия к конструкции газогенераторов, такие как способность газогенератора определенным образом компенсировать отличия выше упомянутых характеристик за счет внесения определенных конструктивных изменений, при чем возможность совершения этих изменений должна быть заложена в конструкции газогенератора в виде настройки режима газификации.

Научной проблемой есть то что существующих закономерностей недостаточно для определения конструкционно-технологических параметров машин и оборудования для повышения эффективности производства и использования биотоплив путем усовершенствования и обновления экологически безопасных технологических процессов, средств механизации и оборудования.

Требуют решения задания минимизации добавочных затрат на придание биологическим топливам потребительских качеств. Особенную актуальность это приобретает при возрастании уровня механизации производства и цен на высокоэнергетические невозобновляемые источники энергии и одновременном увеличении требований к охране окружающей среды как среды обитания человека.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Frandsen F.J., Nielsen F.J., Jensen P.A., 2-7 ноября 1997. Deposition and corrosion in straw and

coal-straw co-fired utility boilers: Danish experiences // Препринт конференции Engineering Foundation: «Impact of mineral impurities in solid fuel combustion». - Кона, США.

2. Skrifvars B.J., Huppa M., Moilanen A., Lundqvist R., 1996. Characterization of biomass ashes // Application of Advanced Technology to Ash-Related Problems in Boilers. (Eds L. Baxter and R.DeSollar). New York and London: Plenum Press.

3. Гелетуха Г.Г., Железна Т.А., 1998. Обзор технологии сжигания соломы с целью выработки тепла и электроэнергии. Экотехнологии и ресурсосбережение. - №6. 3-12.

4. Гелетуха Г.Г., Железна Т.А., Матвеев Б.Ю., Жовнір М.М., 2006. Використання місцевих видів палива для виробництва енергії в Україні. Промислова теплотехніка. – Т.28, №2. 85-93.

5. Головченко Н.М., Данкевич В.С., Добрякова С.В., Дубровін В.О., Зіміна Г.Р., Зіновчук В.В., Зіновчук Н.В., Карпюк В.М., Кухарець В.В., Кухарець С.М., Ращенко А.В., 2011. Рекомендації щодо створення сільськогосподарського обслуговуючого кооперативу для надання послуг у виробництві та реалізації біопалива в Житомирській області. – Житомир. - 96с.

6. Голуб Г.А., 2005. Проблемы биоконверсии органической сировины в агроценозах. Вісник аграрної науки. - № 1. 43-48.

7. Голуб Г.А., Марус О.А., 2011. Оптимізація параметрів машин та обладнання. MOTROL. – Т. 13В. 15-19.

8. Голуб Г.А., Лук'янець В.О., Субота С.В., 2010. Теплота згоряння та умови спалювання соломи. Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільськогосподарства» УААН. – №8. 49-52.

9. Жовнір М., Олійник Є., Чаплигін С., 2007. Альтернативное теплоснабжение за счет использования соломы. Коммунальное хозяйство. - №8. 24-27.

10. Жовнір М., Олійник Є., Чаплигін С., 2007. Солома обігріє села. Агросектор. - № 5. 28-31.

11. Зысин Л.В., Кошкин Н.Л., 1993. Энергетическое использование биомассы на основе термической газификации. Теплоэнергетика. – № 4. 23–26.

12. Комышник Л.Д., Журавлев А.П., Хасанова Ф.М., 1988. «Сушка и хранение семян подсолнечника». – М.

13. Кухарець С.М., 2012. Енергоавтономність агроєкосистем на основі біологічних видів палива. Зб. наук. пр. Спеціальний випуск до VII науково-практичної конференції «Сучасні проблеми збалансованого природокористування». – Кам'янець – Подільський: ПДАТУ. 149-154.

14. Подзноев Г., Абдулгасис У., 2009. Возможности регенерации теплоты в термодинамическом цикле дизеля. MOTROL. – Т. 11А. 272-277.



15. Пугач Л.И., Серант Ф.А., Серант Д.Ф., 2006. Нетрадиционная энергетика – возобновляемые источники, использование биомассы, термохимическая подготовка, экологическая безопасность: учеб. пособ. – Новосибирск: Изд-во НГТУ. – 347.
16. Самочетов В.Ф., Джорогян Г.А., Никулин Е.И., 1978. «Техническая база хлебоприемных предприятий». – М.
17. Суханов Ф.Д., Артемов И.В., 1987. «Рекомендации по интенсивной технологии возделывания рапса». – Липецк.
18. Черевко Г., Кохана Т., Магійович І., 2006. Альтернативна енергетика агропромислового комплексу України. MOTROL. – Т. 8А. 106-116.
19. Эугениуш Д., 1984. «Послеуборочная обработка зерна». – Познань.

JUSTIFICATION OF THE RATIONALITY OF  
USING OF STRAW GASIFICATION PRODUCTS IN  
THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF GRAIN  
DRYING

**Summary.** The analysis of resource support of grain drying technological processes through the energetical use of by-products such as straw is done. It implements by the way of gasification and generator gas's combustion. The economic justification of implementation of gas-generator equipment in the process of grain drying is done.

**Key words:** grain, straw, drying, gasification, energy efficient, briquettes, pellets, granules.



## ВЛИЯНИЕ МЕХАНОАКТИВАЦИИ И ДОБАВКИ МИКРОКРЕМНЕЗЕМА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПРЕССОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ГРАНОДИОРИТОВЫХ ШЛАМОВ ШАРХИНСКОГО КАРЬЕРА

Ирина Елькина

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства*  
Адрес: Украина, АР Крым, г. Симферополь, ул. Павленко, д.3, каб.300  
[irivel@mail.ru](mailto:irivel@mail.ru)

**Аннотация.** Исследовано влияние процесса механоактивации и добавки микрокремнезема на прессованные образцы из шламов гранодиоритовых пород, изучено формирование структуры и свойств материала. Выявлена возможность получения качественных стеновых материалов на основе вторичного сырья.

**Ключевые слова:** механоактивация, шлам, прессование, сырьевые смеси, рентгеноструктурный анализ, электронная микроскопия

### ВВЕДЕНИЕ

Повышение прочности цементного камня при изготовлении бетонов различного назначения является актуальной задачей, решение которой позволяет существенно снизить расход вяжущего в бетоне или повысить прочность цемента. Одним из наиболее простых способов повышения активности цемента и, соответственно, прочности цементного камня в бетоне является увеличение тонкости помола цемента. Следует отметить, что влияние механоактивации цемента и добавки микрокремнезема на прессованные материалы изучены недостаточно. Формирование их структуры и свойств в стесненных условиях, вызванных полусухим прессованием, вызывают необходимость дополнительных исследований.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Существуют различные способы диспергирования цемента: помол в мельницах различных типов, кавитационная обработка в ультразвуковых и другого типа кавитаторах, высокоимпульсная электроразрядная обработка и т.п. [1]. Однако, до настоящего времени, в строительной индустрии эти методы активации и диспергирования не нашли широкого применения, несмотря на некоторые положительные результаты опытно-промышленных испытаний. Это связано, прежде всего, с повышением энергоемкости и усложнением технологии производства.

Совокупность имеющейся обширной информации об уникальных свойствах ультрадисперсных сред и об их качественно новых практических приложениях позволяют считать, что перевод материала в ультрадисперсное состояние представляет собой столь же эффективное направление в материаловедении, как различного вида термообработка и легирование [2, 3, 4].

Анализ существующих исследований механоактивации сырья в производстве строительных материалов свидетельствует, что

интенсивность этого процесса зависит от характеристик механического воздействия. Основной характеристикой является скорость подвода механической энергии к частицам обрабатываемого материала. При увеличении скорости и частоты нагружения частиц материала резко увеличивается уровень его механоактивации, что проявляется в ускорении процессов формирования структуры и повышения прочности силикатных и цементных бетонов, керамики и других изделий, сокращаются технологические, температурно-временные параметры их обработки [5, 6, 7].

### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЙ

Как известно, отходы производства сравнительно редко обладают необходимыми физико-химическими, технологическими и другими свойствами, позволяющими производить из них качественные строительные материалы. В этих условиях большое значение имеет разработка технологии, включающей обоснованную компоновку сырьевых смесей, выбор эффективных структурообразующих добавок и создание необходимых условий для формирования оптимальной структуры материалов.

Поэтому, исследование влияния механоактивации и добавки микрокремнезема на формирование структуры и свойств материалов на основе шламов промывки дробленых магматических пород в условиях полусухого прессования при высоких давлениях (до 30МПа) представляет научный и практический интерес.

Цель настоящей работы – исследование влияния процесса механоактивации части цемента ультразвуковым воздействием в сочетании с добавкой в сырьевую смесь ультрадисперсного микрокремнезема на структуру и свойства прессованных материалов на основе шламов промывки дробленых магматических пород.

Иными словами этот процесс можно назвать модификацией сырьевой смеси малыми частицами.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в 3 этапа. В качестве вяжущего использовались шлакопортландцемент М400 Бахчисарайского цементного завода и портландцемент М500 Краматорского цементного завода и микрокремнезем ОАО «Запорожского завода ферросплавов». В качестве мелкодисперсных отходов дробления горных пород использовались шламы промывки дробленых магматических пород: гранодиориты Шархинского карьера и диабазы Лозовского карьера (АР Крым).

На первом этапе изучалась механоактивация цемента ультразвуковым воздействием. Активацию и диспергирование цемента производили в водной среде с использованием ультразвукового аппарата УЗТА-0,8/22-ОМ, предназначенного для обработки суспензий. Интенсивность ультразвукового воздействия составляла  $25 \text{ Вт/см}^2$ .

На втором этапе изучалось влияние микрокремнезема на структуру и свойства прессованных цементных образцов. Лабораторные исследования проводили на образцах-цилиндрах диаметром и высотой 3 см. Сырьевую смесь заданного состава готовили перемешиванием микрокремнезема, портландцемента и шлакопортландцемента, шламов в лабораторном смесителе. Относительная формовочная влажность смеси 10 % (мас.).

Образцы-цилиндры прессовали на прессе П-10 при заданном удельном давлении.

На третьем этапе исследовалась структура и свойства образцов на основе шламов и механоактивированных цемента с добавкой микрокремнезема.

Исследование проводили на образцах-цилиндрах диаметром и высотой 3 см, получаемых полусухим прессованием сырьевой смеси с относительной влажностью 10% (мас.) при удельном давлении 30 МПа. После прессования образцы выдерживали в естественных условиях, после чего определяли их предел прочности при сжатии в возрасте 7 и 28 суток.

Общий вид ультразвукового аппарата УЗТА-0,8/22-ОМ приведен на рис. 1.

Структуру исследуемых систем изучали с помощью электронной сканирующей микроскопии на микроскопе РЕМ-106, SELMI. Рентгеноструктурный анализ выполнен на дифрактометре ДРОН – 2,0.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

Результаты первого этапа исследований влияния длительности ультразвуковой обработки

цементной суспензии, содержащей 30% цемента приведены на рис. 2. Время обработки суспензии составляло 15, 30, 60 и 90 с. Предварительными опытами установлено, что превышение количества цемента в суспензии более 30 % приводит к его седиментации. Активированную суспензию смешивали с «сухим» неактивированным цементом до получения растворной смеси с В/Ц=0,5.

Экспериментальные данные (рис. 2) свидетельствуют о росте прочности образцов из портландцемента М500 при увеличении длительности ультразвуковой обработки до 60 с с 48 МПа до 62 МПа, т.е. в 1,29 раза. Прочность образцов из шлакопортландцемента М400 достигает максимального значения 51 МПа при длительности обработки 70 с, т.е. увеличивается в 1,27 раза по сравнению с образцами без содержания активированного цемента. При увеличении длительности ультразвуковой обработки более 60-70 с, прочность образцов уменьшается на 2,9-4,8 % для исследованных цемента.

На рис. 3 приведена зависимость предела прочности образцов цементного камня от количества активированного цемента в растворе.

Эксперимент проводили следующим образом: из указанных выше цемента готовили пробы по 1 кг каждая. От каждой пробы отбирали часть цемента 10, 20 и 30% по массе для приготовления суспензий. Объем воды для приготовления суспензий выбирали таким образом, чтобы при смешивании обработанной ультразвуком суспензии с сухим остатком цемента. В/Ц раствора составляло 0,5. Из полученного раствора формовали образцы-кубики размером 2х2 см, которые выдерживали 28 суток во влажных условиях, затем определяли их предел прочности при сжатии по стандартной методике.

При увеличении содержания активированного цемента в растворе до 30%, прочность цементного камня возрастает на 41% для шлакопортландцемента М400 Бахчисарайского цементного завода и на 38% для портландцемента М500 Краматорского цементного завода. Снижение В/Ц до 0,45 несколько повышает прочность образцов, а повышение В/Ц до 0,55 снижает прочность образцов.

Представляет научный и практический интерес изучение влияния ультразвуковой обработки на изменение дисперсности цемента в суспензии. Однако, при затворении цемента водой в результате растворения компонентов цемента его грансостав резко меняется. В связи с этим, исследование зависимости дисперсности цемента в суспензии требует постановки специальных опытов и разработки сложной методики определения размера частиц. Косвенно оценить уровень дисперсности частиц и плотность их упаковки можно по структуре цементного камня, изготовленного из активированного цемента.

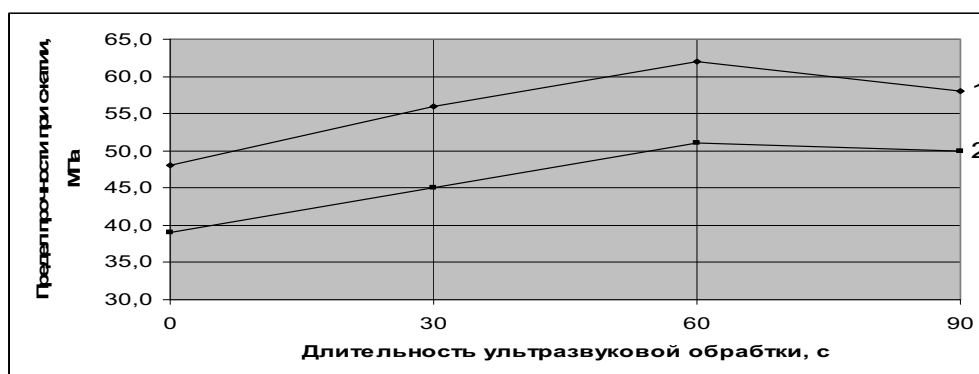


Рис. 2. Влияние продолжительности ультразвуковой обработки на прочность цементного камня (1 – портландцемент М500, 2 – шлакопортландцемент М400)

Fig. 2. Effect of ultrasonic treatment on the strength of cement (1 - portland M500, 2 - slag cement M400)

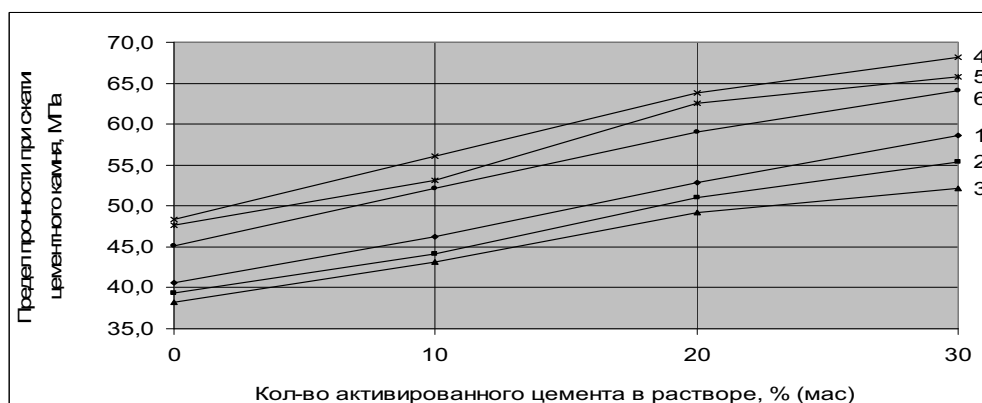
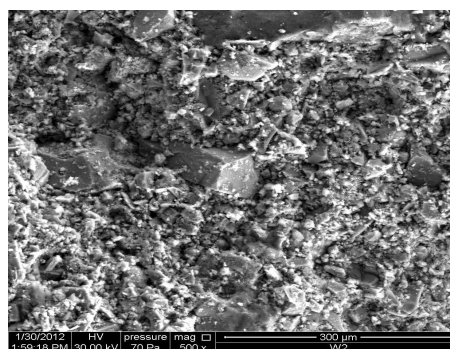
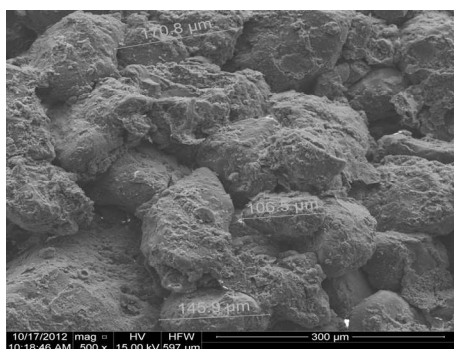


Рис. 3. Влияние количества активированного цемента в растворе на прочность: 1,2,3 для шлакопортландцемента М400 Бахчисарайского цементного завода с В/Ц 0,45; 0,5 и 0,55 соответственно; 4,5,6 для портландцемента М500 Краматорского цементного завода с В/Ц 0,45; 0,5 и 0,55 соответственно;

Fig. 3. Effect of number activated cement solution for strength: 1,2,3 for blast-furnace cement M400 Bakhchsarai cement plant with a W / C 0.45, 0.5 and 0.55, respectively, for 4,5,6 M500 Kramatorsk portland cement factory with B / C 0.45, 0.5 and 0.55, respectively



а

б

Рис. 4. Структура цементного камня из ПЦ М500 (а – без ультразвуковой обработки, б – с ультразвуковой обработкой)

Fig. 4. The structure of the cement stone of PC M500 (a - without ultrasonic treatment, b - with sonication)

На рис. 4 представлена структура цементного камня на портландцементе М500 из неактивированного цемента (а) и активированного цемента (б) при длительности ультразвуковой обработки 60 с. Образцы изготовлены из раствора с В/Ц=0,5, время твердения 28 суток во влажных условиях.

Изучение структуры цементного камня (рис. 4) показывает, что образец из полностью активированного цемента имеет гомогенную,

мелкокристаллическую структуру, что свидетельствует о существенной диспергации частиц цемента в суспензии при ультразвуковом воздействии.

Ультразвуковое воздействие вызывает в обрабатываемой суспензии кавитацию, которая приводит к увеличению удельной поверхности цемента непосредственно в водной среде, позволяет полнее использовать его потенциальные свойства и повышать степень гидратации и поверхностную энергию частиц.

Разрушая непрочную крупнозернистую структуру удается диспергировать цемент, получить минеральные взвеси коллоидной или близкой к ней дисперсности, увеличить количество центров кристаллизации и, в конечном итоге, обеспечить формирование прочной микрокристаллической структуры цементного камня.

Следует отметить, что разрабатываемые нами направления утилизации шламов промывки дробленых магматических пород основаны на получении изделий методом полусухого прессования.

Как известно, величина относительной влажности сырьевой смеси при удельном давлении прессования 30 МПа не должна превышать 8-10% (мас.). При добавке цементного раствора с В/Ц=0,5 к шламу в количестве 10-15% мы не должны превысить указанную выше влажность сырьевой смеси. При В/Ц раствора равном 0,5 количество вводимой воды в пересчете на влажность сырьевой смеси составляет 5-7,5%. С учетом естественной влажности перерабатываемого шлама 2-2,5%, В/Ц=0,5 обеспечивает оптимальную формовочную

влажность смеси для полусухого прессования изделий.

Учитывая небольшой объем активируемого цемента (20-30%), данная технология может быть легко реализована путем установки в технологическую линию ультразвукового аппарата проточной обработки суспензий, например УЗТА 0,8/22-ОМ.

На втором этапе исследований было изучено влияние микрокремнезема на физико-механические свойства портландцемента М500 и шлакопортландцемента М400. Микрокремнезем добавляли к цементу в количестве 0, 5, 10, 15, 20%, смесь увлажняли до 10% относительной влажности и прессовали образцы-цилиндры при удельном давлении 30МПа.

Полученные результаты (табл. 1 и 2) свидетельствуют о том, что наиболее рациональным является состав с добавлением к портландцементу и шлакопортландцементу 10% микрокремнезема. При этом прочность образцов оптимального состава возрастает на 21,2-27,6 % по сравнению с прочностью образцов без добавки микрокремнезема.

Также было изучено влияние полученного вяжущего, состоящего из 90% шлакопортландцемента и 10% микрокремнезема, на физико-механические характеристики и структуру образцов на основе мелкодисперсных отходов шлама Шархинского и Лозовского карьеров. Вяжущее в количестве 10, 20, 30% добавляли к шламу, смесь увлажняли до 10%-ной влажности, и прессовали образцы-цилиндры при удельном давлении прессования 30МПа.

Таблица 1. Влияние добавки микрокремнезема на физико-механические свойства прессованных образцов из портландцемента

Table 1. Effect of silica fume addition on physical and mechanical properties of extruded samples of Portland cement

| Показатели                            | Состав смеси, % (мас.) |                  |                   |                   |                  |
|---------------------------------------|------------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|
|                                       | ПЦ-100                 | ПЦ-80,<br>МК -20 | ПЦ -85,<br>МК -15 | ПЦ -90,<br>МК -10 | ПЦ -95,<br>МК -5 |
| Средняя плотность, кг/см <sup>3</sup> | 2180                   | 2157             | 2160              | 2163              | 2170             |
| Предел прочности при сжатии, МПа      | 69,3                   | 74,8             | 65,29             | 88,4              | 76,9             |

Таблица 2. Влияние добавки микрокремнезема на физико-механические свойства отпрессованных образцов из шлакопортландцемента

Table 2. Effect of silica fume addition on the physico-mechanical properties of compression molded samples of slag Portland cement

| Показатели                            | Состав смеси, % (мас.) |                   |                    |                    |                   |
|---------------------------------------|------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
|                                       | ШПЦ-100                | ШПЦ-80,<br>МК -20 | ШПЦ -85,<br>МК -15 | ШПЦ -90,<br>МК -10 | ШПЦ -95,<br>МК -5 |
| Средняя плотность, кг/см <sup>3</sup> | 2170                   | 2150              | 2158               | 2164               | 2169              |
| Предел прочности при сжатии, МПа      | 58,31                  | 63,78             | 65,29              | 70,67              | 69,16             |

Таблица 3. Прочность образцов на основе шламов в зависимости от количества портландцемента и микрокремнезема

Table 3. Tensile samples based sludge depending on the amount of portland cement and silica fume

| Вид шлама                | Предел прочности образцов при сжатии (МПа), состав (% , мас.) |                    |                 |                    |                 |                    |
|--------------------------|---|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|
|                          | Шлам-90, ПЦ-10  | Шлам -90, ПЦ+МК-10 | Шлам -80, ПЦ-20 | Шлам -80, ПЦ+МК-20 | Шлам -70, ПЦ-30 | Шлам -80, ПЦ+МК-20 |
| Шлам Шархинского карьера | 14,30   | 15,18              | 20,36           | 22,81              | 32,05           | 35,64              |
| Шлам Лозовского карьера  | 15,51   | 16,52              | 25,68           | 29,53              | 38,07           | 42,18              |

Таблица 4. Прочность образцов на основе шламов в зависимости от количества шлакопортландцемента и микрокремнезема

Table 4. Tensile samples based sludge depending on the amount of slag Portland cement and silica fume

| Вид шлама                | Предел прочности образцов при сжатии (МПа), состав (% , мас.) |                     |                  |                     |                  |                     |
|--------------------------|---|---------------------|------------------|---------------------|------------------|---------------------|
|                          | Шлам-90, ШПЦ-10   | Шлам -90, ШПЦ+МК-10 | Шлам -80, ШПЦ-20 | Шлам -80, ШПЦ+МК-20 | Шлам -70, ШПЦ-30 | Шлам -80, ШПЦ+МК-20 |
| Шлам Шархинского карьера | 13,01   | 13,80               | 18,51            | 20,74               | 29,14            | 32,40               |
| Шлам Лозовского карьера  | 14,1  | 15,02               | 23,35            | 26,85               | 34,61            | 38,35               |

Полученные результаты (табл. 3 и 4) показывают, что ввод в состав шлакопортландцемента и микрокремнезема в количестве 10% приводит к росту прочности прессованных образцов на 6,1-11,2% (Шархинский шлам) и на 6,5-10,8% (Лозовской шлам).

При вводе микрокремнезема в состав портландцемента в том же количестве прочность образцов увеличивается на 6,2-12 % (Шархинский шлам) и на 6,6-14,9 % (Лозовской шлам).

Таким образом, проведенные исследования показали, что использование микрокремнезема, дает дополнительный ресурс повышения прочности прессованных образцов на основе мелкодисперсных шламов промывки магматических пород при снижении расхода цемента на 10%.

В третьей части исследований приведены результаты изучения процессов структурообразования прессованного цементного камня из механоактивированных ультразвуковым воздействием цементов с добавкой микрокремнезема.

Вначале было изучено влияние на прочность образцов механоактивации, добавки микрокремнезема, совместного воздействия механоактивации и добавки микрокремнезема. Механоактивацию цемента проводили ультразвуковым кавитационным воздействием на часть цемента (30%), путем приготовления суспензии из этой части цемента и ее обработке на установке УЗТА-0,8/22-ОМ. Оптимальное количество микрокремнезема, добавляемого к цементам, составляло 10% (мас.). Анализ полученных результатов (см. табл. 5)

свидетельствует о существенном росте прочности прессованных образцов цемента. Механоактивация части цементов ультразвуковым воздействием повышает их прочность на 26,9-31,4%, ввод микрокремнезема приводит к росту прочности на 13,8-21,1%, механоактивация и добавка микрокремнезема повышает прочность цементов на 64,2-71,8% (в возрасте 7 сут.) и на 78,2-88,4% (в возрасте 28 сут.).

Для изучения характера влияния механоактивации и микрокремнезема на особенности формирования фазового состава прессованного цементного камня проведен рентгенофазовый и термический анализ образцов.

Термическим анализом образцов в возрасте 28 суток обнаружена химически несвязанная вода и портландит  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . В интервале температур эндозффекта портландита (105-106°C и 454°C) потеря массы механоактивированных образцов и образцов с добавкой микрокремнезема снижается по сравнению с контрольным образцом. Максимальное снижение (до 40-45%) наблюдается у модифицированных образцов с добавкой микрокремнезема. В интервале температур 600-800°C в контрольном образце и механоактивированном образце наблюдаются пики сложной формы с двумя вершинами (693 и 738°C), что указывает на большое число форм высокоосновных гидросиликатов кальция. В то же время, в образце из механоактивированного цемента с добавкой микрокремнезема зафиксирован один пик (712°C). Это свидетельствует об увеличении количества низкоосновных гидросиликатов кальция.

Таблица 5. Влияние механоактивации и добавки микрокремнезема на прочность цементных образцов  
Table 5. The influence of mechanical activation and silica fume addition on the strength of cement samples

| Вид цемента | Предел прочности при сжатии (МПа) |         |                               |         |   |         |   |         |
|-------------|-----------------------------------|---------|-------------------------------|---------|---|---------|---|---------|
|             | обычный                           |         | Частично механоактивированный |         | Неактивированный с добавкой микрокремнезема |         | Механоактивированный с добавкой микрокремнезема |         |
|             | 7 сут.                            | 28 сут. | 7 сут.                        | 28 сут. | 7 сут.                                      | 28 сут. | 7 сут.  | 28 сут. |
| ШПЦ М400    | 57,2                              | 73,1    | 76,8                          | 96,1    | 68,7  | 88,5    | 98,3  | 137,7   |
| ПЦ М500     | 65,4                              | 87,2    | 81,3                          | 110,7   | 74,6  | 99,2    | 107,4   | 155,4   |

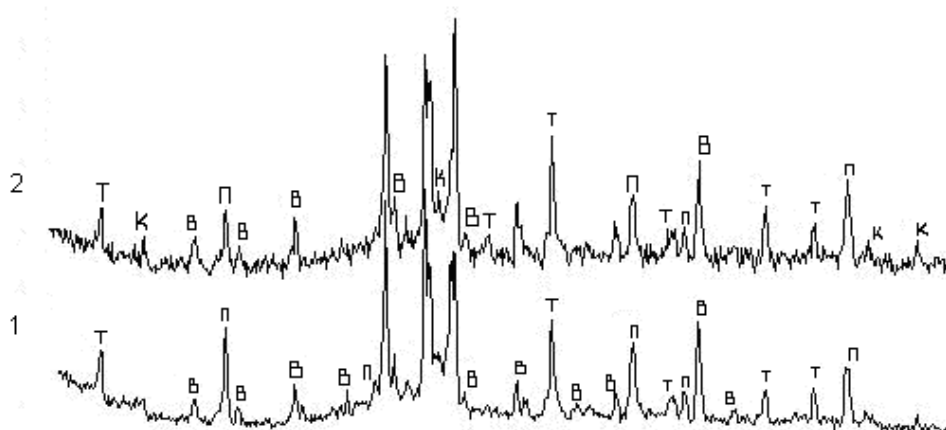


Рис. 5. Рентгенограммы цементного камня в возрасте 28 суток: 1 - цементный камень из ПЦ-500; 2 - цементный камень из механоактивированного цемента с добавкой микрокремнезема

Fig. 5. Radiographs of cement in 28 days: 1 - cement stone of the PC-500, 2 - cement stone of mechanically activated cement with the addition of silica fume

По данным рентгенофазового анализа (рис. 5) в цементном камне, полученном из механоактивированного цемента с добавкой микрокремнезема, повышается содержание низкоосновных гидросиликатов кальция и уменьшается количество высокоосновных гидросиликатов и портландита по сравнению с контрольным образцом. Также на рентгенограммах фиксируются пики тоберморитоподобных и ксонолитоподобных гидросиликатов кальция.

Результаты электронно-микроскопических исследований структуры прессованных материалов представлены на рис. 6.

Анализируя результаты электронно-микроскопических исследований структуры прессованных материалов на основе шламов промывки дробленых магматических пород и механоактивированных цементов с добавкой микрокремнезема, видно, что их структура однородная, без различных дефектов (микротрещин, пустот). Она состоит из частиц, плотно прилегающих друг к другу. Таким образом, установлено, что механоактивация частиц цемента в сочетании с добавкой микрокремнезема позволяет существенно повысить прочность прессованных

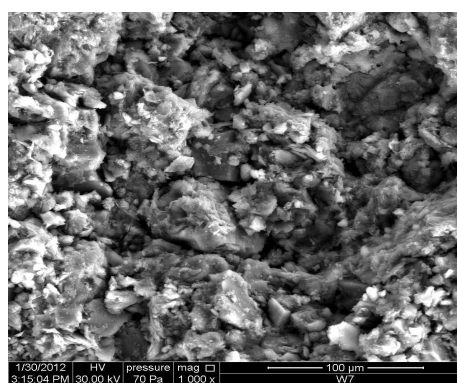
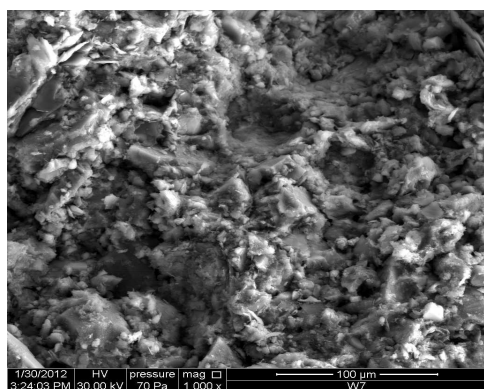
образцов на основе шламов промывки дробленых магматических пород. Полученные результаты могут быть использованы при разработке технологии производства качественных строительных материалов с маркой по прочности от М200 до М450.

#### ВЫВОДЫ

1. Показано влияние механоактивации части цемента ультразвуковым воздействием на прочность цементных образцов. Установлено, что при увеличении содержания активированного цемента в растворе до 30%, прочность цементного камня возрастает на 38-41 % за счет диспергации и активации минералов в водной среде с получением минеральных малых частиц наноразмеров, которые являются дополнительными центрами кристаллизации при формировании структуры цементного камня.

2. Изучено влияние микрокремнезема на структуру и свойства цементных образцов. Показано, что ввод микрокремнезема в цементный раствор при В/Ц=0,5 в количестве 10% приводит к росту прочности образцов на исследованных цементах на 21,2-27%.





а  
б

Рис. 6. Структура образцов: а, б – образцы на основе шлама Шархинского и Лозовского карьера и 20% механоактивированного вяжущего и микрокремнезема соответственно

Fig. 6. The structure of the samples: a, b - samples using the sludge and Sharhinskogo Lazouski career, and 20% of mechanically activated binder and silica fume, respectively

3. Установлено, что частичная ультразвуковая механоактивация цементов повышает прочность прессованных цементных образцов на 26,9-31,4%, ввод микрокремнезема приводит к росту прочности на 13,8-21,1%, совместная механоактивация и добавка микрокремнезема повышает прочность цементов на 64,2-71,8% (в возрасте 7 сут.) и на 78,2-88,4 % (в возрасте 28 сут.).

4. Исследована структура и свойства прессованных образцов на основе шламов промывки дробленых магматических пород. Установлено, что цемент с микрокремнеземом повышает прочность образцов на 6,2-15,9% при снижении расхода цемента на 10 %.

5. Показано совместное влияние ультразвуковой механоактивации 30% цемента и 10%-ной добавки микрокремнезема на структуру и свойства образцов на основе шламов промывки дробленых магматических пород. При содержании таких цементов в сырьевой смеси в количестве 5-20% прочность образцов возрастает в 1,5-3,7 раза.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Файнер М. Ш., 1993 г. Теоретические и экспериментальные основы разрядно-импульсной технологии бетона. УкрИНТЕИ, 81 с.

2. Владимирова П. С., 1986 г. Роль малых частиц при технологической переработке минерального сырья. Записки Всесоюзного Минералогического общества, 166–172.

3. Морохов И. Д., Л. И. Трусов, В. Н. Лапова, 1984 г. Физические явления в ультрадисперсных средах. Энергоатомиздат, 224 с.

4. Ревнивцев В.И., Владимирова П.С., Доливо-Добровольский Г.И., Тихонов О.Н., 1990 г. Процессы самоорганизации в системах обломочных малых частиц. Неорганические материалы, Т. 26. 1086–1091.

5. Хайнике Г., 1987 г. Трибохимия пер. с нем. Мир, 584 с.

6. Гасанов А., Нестеренко Е., Люлько А., 2009 г. Ресурсосбережение в производстве строительных материалов. MOTROL, т. 11А, с. 134-137.

7. Хинт И., 1981 г. УДА-технология: проблемы и перспективы, Таллин: Валгус, 36 с.

8. Любомирский Н., Сребняк В., Бахтин А., 2009 г. Строительные композиты на основе извести карбонизированного типа твердения. MOTROL, т. 11А, 228-238.

9. Lyubomirskiy N., Fedorkin S., Lukyanchenko M., 2010 Substantiation of principles of lime artificial carbonation in the technology of solidphase construction materials. ТЕКА, vol. 10, 249-255.

10. Fedorkin S., Lyubomirskiy N., Lukyanchenko M., 2008 Optimization of the process of lime systems carbonization as an efficient way of reducing energy intensity of carbonaceous construction materials production. ТЕКА, vol. 8, 69-76.

11. Любомирский Н., Локтионова Т., 2009 г. Формирование структуры известкового теста при твердении в среде углекислого газа. MOTROL, т. 11А, 239-246.

12. Шторк И., 2004 г. Долговечность бетона, пер. с немец. А. Тулаганова под ред. П. Кривенко. Оранта, Киев, 301 с.

#### EFFECT OF MECHANICAL ACTIVATION SUPPLEMENTS AND FUME ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES THE COMPACT GRANODIORITE OF SLUDGE SHARHINSKOGO CAREER

**Summary.** The influence of mechanical activation process and silica fume addition to the compressed samples from sludge granodiorite rocks studied the formation of structure and properties the material. Spotted an opportunity to obtain high-quality wall materials based on recycled materials

**Keywords:** mechanoactivation, sludge, pressing, raw mix, X-ray diffraction analysis, electron microscopy.



## ОЦЕНКА ЖИВУЧЕСТИ ОТДЕЛЬНО СТОЯЩИХ ФУНДАМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССА ИХ РАЗРУШЕНИЯ

Игорь Дьяков

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

Адрес: Украина, г.Симферополь, ул.Киевская 181

e-mail: karta3@mail.ru

Аннотация. Живучесть фундаментов играет существенную роль в стойкости здания к прогрессирующему разрушению, что должно учитываться в соответствующих расчетах. Экспериментальные исследования в области работы отдельно стоящих фундаментов позволили выявить этапы процесса разрушения конструкций и соотношение разрушающей нагрузки, расчетной и регламентированной несущей способности. Величина запаса живучести фундаментов зависит от значительного числа факторов, среди которых: геометрические характеристики конструкции и ее конструктивные особенности, прочностные характеристики материалов, эксцентриситет приложения внешней нагрузки и другие.

Ключевые слова: отдельно стоящие фундаменты, живучесть конструкции, прогрессирующее разрушение

### ВВЕДЕНИЕ

В Мире растет число аварий зданий и сооружений, приносящих не только материальный и моральный ущерб, но и человеческие жертвы. Это активизировало внимание к исследованиям в области стойкости к прогрессирующему разрушению зданий и сооружений, живучести строительных конструкций и систем [9], их надежности и долговечности [8]. Одними из причин прогрессирующего разрушения зданий и сооружений является запределные нагрузки на фундаменты и их локальное повреждение. С одной стороны потеря способности одного или группы фундаментов к восприятию нагрузки, в том числе запределной, может самостоятельно привести к прогрессирующему разрушению объекта. С другой стороны при повреждении отдельных несущих вертикальных элементов здания (колонн, опор и т.д.) происходит перераспределение усилий на другие вертикальные элементы и, соответственно, на их фундаменты воздействуют запределные нагрузки.

В большинстве расчетных моделей, применяемых для определения стойкости здания или сооружения к прогрессирующему разрушению, возможность повреждения и разрушения фундаментов не рассматривается [3,7]. Отсутствуют и исследования живучести фундаментных конструкций. Таким образом, для комплексной оценки стойкости зданий к прогрессирующему разрушению необходимы методики определения живучести фундаментов, разработка которых требует проведения целенаправленных исследований.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Исследованиями в области работы отдельно стоящих фундаментов на изгиб и продавливание, их взаимодействия с грунтовым основанием

занимались многие ученые. В результате исследований разработаны различные методики расчета фундаментов на продавливание и изгиб, в том числе учитывающие трансформацию эпюры нормальных контактных напряжений в грунте основания под подошвой конструкций [10]. Вместе с тем исследования не затрагивали работу фундамента с повреждениями, так как их наличие рассматривается строительными нормами как разрушение конструкции. Не ставилась целью исследований оценка максимального уровня нагрузки, который фундамент может воспринять в аварийной ситуации, сопровождающейся воздействием запределных нагрузок.

Исследования в области прогрессирующего разрушения зданий и сооружений, живучести отдельных конструкций проведены: Н.В.Клюевой [7], И.Н.Тихоновым, Козелковым М.М., Демидовым А.Р. [12] и др. Они затрагивают большепролетные конструкции, многоэлементные структуры, многоэтажные каркасные и панельные здания, пространственные оболочки и другие конструкции. Подобные исследования в области живучести фундаментов отсутствуют.

### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Цель статьи – проанализировать результаты экспериментальных исследований и на их основе рассмотреть вопросы живучести отдельно стоящих фундаментов, оценить имеющиеся запасы несущей способности конструкций, обеспечивающие восприятие запределных нагрузок.

Задачи статьи:

- на основе результатов экспериментальных исследований выявить стадии разрушения отдельно-стоящих фундаментов;
- оценить имеющиеся запасы несущей способности конструкций,

- обеспечивающие восприятия  
запредельных нагрузок.
- выявить основные факторы, влияющие на живучесть отдельно стоящих фундаментов;
  - определить направления дальнейших исследований.

части, эксцентриситет приложения внешней нагрузки. Испытания проводили в грунтовой лотке размерами 4,0 x 4,0 x 4,0 м, заполненном песком средней крупности. Измеряли: уровень внешней нагрузки, нормальные контактные напряжения под подошвой фундамента, напряжения в рабочей арматуре, напряжения в сжатой зоне бетона плитной части, осадку и деформации плиты.

Для проведения измерений использовали мессдозы, тензометрию, датчики напряжения в бетоне М20-ВРМ, индикаторы и прогибомеры часового типа. После проведения испытания для изучения характера внутренних трещин все конструкции были распилены вертикальными резами в длинном направлении плиты.

Рассмотрим результаты некоторых из экспериментов.

У Образца Ф-1-4 первые нормальные трещины в плите образовались при внешней нагрузке 50 кН (17% от разрушающей нагрузки) (рис.1).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ АНАЛИЗ

Для изучения процесса разрушения железобетонных отдельно стоящих фундаментов и их живучести были проанализированы результаты экспериментальных исследований, проведенных в 80-90 годы в НАПКС [6].

Исследования выполняли на крупноразмерных моделях отдельно стоящих фундаментов размерами в плане 1,0 x 1,5 м с толщиной плиты 0,1; 0,15; 0,3 м, что соответствует гибким и жестким фундаментам. Варьировали: толщину плиты, процент армирования плитной

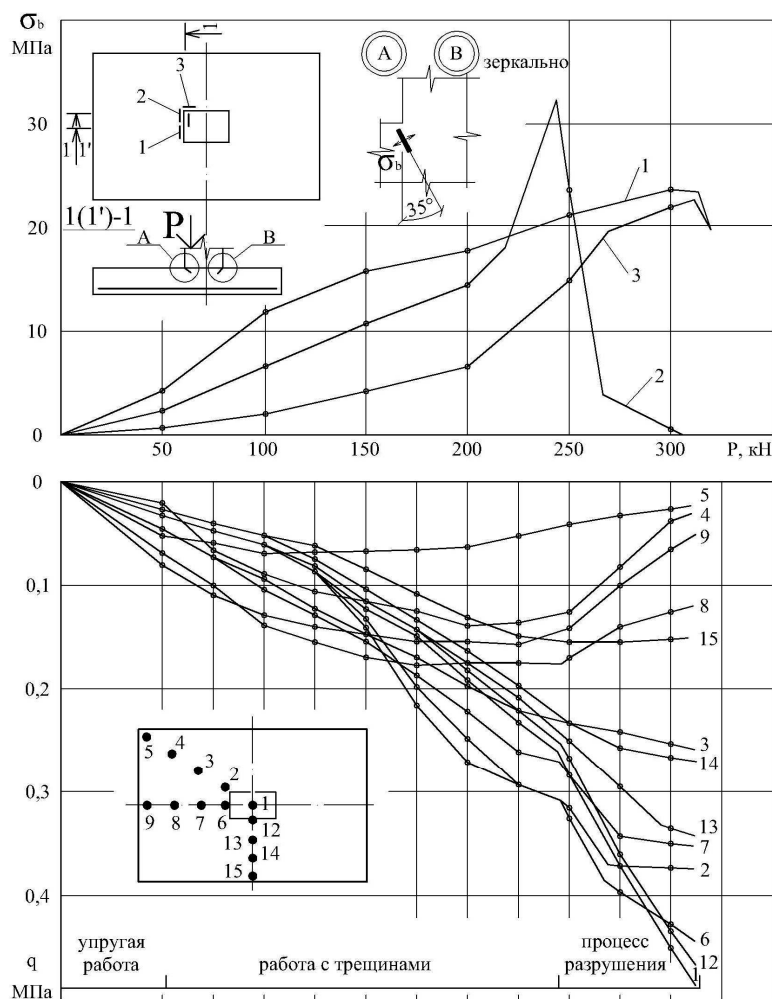


Рис.1. Зависимость напряжений в сжатой зоне бетона плиты и нормальных контактных напряжений под подошвой фундамента Ф-1-4 от уровня внешней нагрузки  
Fig.1. The dependence of the stress in the compression zone of concrete slabs and normal contact stresses under the sole foundation of F-1-4 from the level of the external load

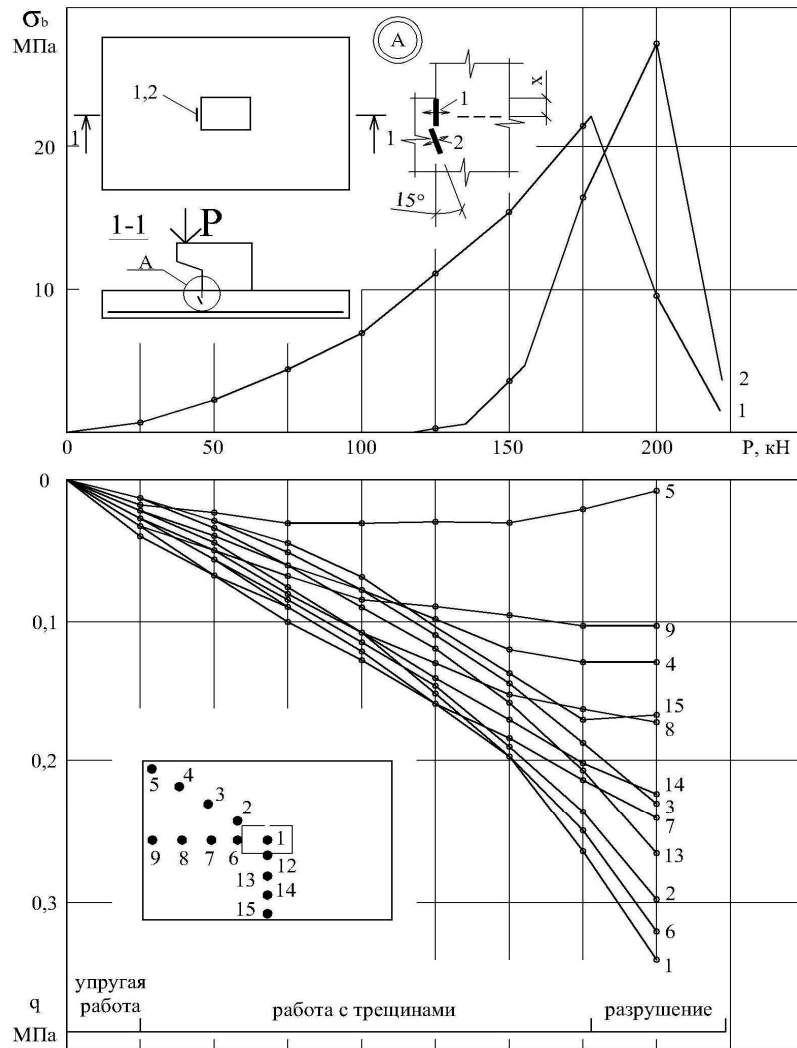


Рис.2. Зависимость напряжений в сжатой зоне бетона плиты и нормальных контактных напряжений под подошвой фундамента Ф-1-5 от уровня внешней нагрузки  
 Fig.2. The dependence of the stress in the compression zone of concrete slabs and normal contact stresses under the sole foundation of F-1-5 from the level of the external load

Из полученной зависимости напряжений в сжатой зоне бетона плиты от внешней нагрузки видно, что при нагрузке 240 кН напряжения достигли пикового значения 32 МПа (что в 2,5 раза выше параметрической прочности бетона конструкции на сжатие) у углов короткой грани колонны, после чего произошло локальное разрушение бетона на данном участке (рис.1). Окончательное разрушение конструкции произошло при нагрузке 310 кН, превысив нагрузку проявления локальных разрушений более, чем в 2,5 раза.

Из результатов испытания образца Ф-1-5 установлено, что при нагрузке 185 кН произошло локальное разрушение в бетоне сжатой зоны у центральной части короткой грани колонны. При этом напряжения составили 23 МПа, превысив параметрическую прочность бетона на сжатие в 2,1

раза (рис.2). Другой датчик, расположенный рядом, но ориентированный в направлении главных сжимающих напряжений показал пиковые напряжения величиной 27 МПа при нагрузке 200 кН. Максимальная нагрузка, воспринятая фундаментом составила 220 кН.

Аналогичная картина получена и при испытании фундамента Ф-3-2 с толщиной плиты 0,1 м. Первые разрушения в бетоне сжатой зоны получены при нагрузке 120 кН у углов колонны (рис.3). При этом напряжения составили 0,9 МПа. Пиковые напряжения в сжатой зоне бетона на небольшом удалении от колонны достигли примерно тех же величин при нагрузке 180 кН, после чего произошли локальные повреждения. Максимальная нагрузка, воспринятая фундаментом составила 200 кН.

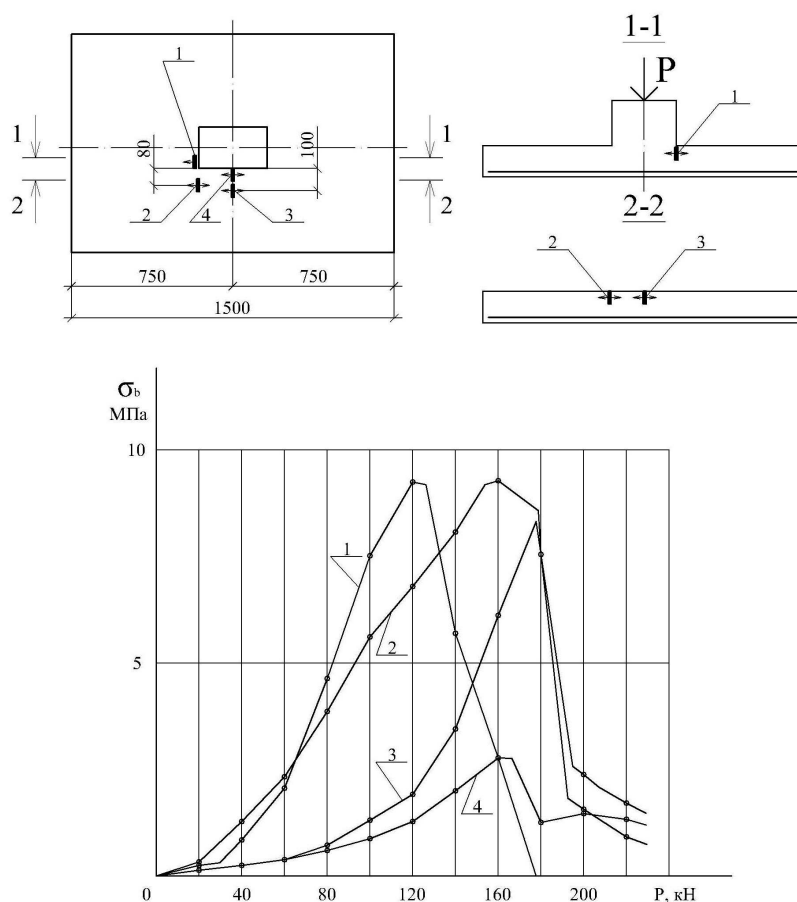


Рис.3. Зависимость напряжений в сжатой зоне бетона плиты фундамента Ф-3-2 от уровня внешней нагрузки  
Fig.3.The dependence of the stress in the compression zone of concrete slab foundation F-3-2 from the level of the external load

На рис.4 представлен разрез некоторых фундаментов после испытаний. Как видно из фотографий, тело фундаментов имеет повреждения в виде нормальных и наклонных трещин, свидетельствующих о разрушении конструкции и выделении пирамиды продавливания.

Изучение эпюр нормальных контактных напряжений под подошвой фундаментов показало, что увеличение внешней нагрузки после возникновения локальных повреждений в конструкции приводит к более активному перераспределению контактных напряжений с увеличением их уровня под центральной частью фундаментов и снижению у краевых зон (рис.1,2). Такая реакция грунтового основания связана с деформациями плиты фундамента. Она способствует относительному уменьшению напряжений в нормальных и наклонных сечениях конструкции, что позволяет достичь большей величины разрушающей нагрузки (живучести фундамента).

Критериями потери несущей способности отдельно стоящих фундаментов в нормальных условиях эксплуатации, исходя из норм многих стран (например [1], [2]), являются такие повреждения плитной части, как:

- появление наклонных трещин, свидетельствующих об образовании пирамиды продавливания вследствие среза;
- разрушение сжатого бетона при достижении фибровыми деформациями граничных значений, свидетельствующее о начале разрушения конструкции по наклонному сечению;
- достижение деформаций текучести в отдельных стержнях арматуры или во всех стержнях одновременно в растянутой зоне плиты;
- раскрытие нормальных трещин более 0,3 мм, что может привести к коррозии арматуры.

Нагрузку, при которой достигаются эти повреждения можно определить как регламентированную несущую способность фундамента (по первой или второй группе предельных состояний). Конструкция, имеющая регламентированные нормы повреждения, рассматривается как потерявшая несущую способность и в дальнейшем эксплуатироваться не может.

В реальных условиях, как показали исследования, разрушающая нагрузка, после которой фундамент полностью теряет стойкость к восприятию внешнего воздействия, значительно больше его регламентированной несущей

способности. Это позволяет фундаменту воспринимать запредельные нагрузки. Таким образом, живучесть фундамента можно оценить уровнем разрушающей нагрузки и степенью ее превышения величины регламентируемой или расчетной несущей способности (коэффициентом запаса живучести).

Для оценки степени живучести фундаментов целесообразно рассматривать два вида коэффициента запаса живучести фундаментов:

Коэффициент запаса расчетной живучести:

$$n_p = \frac{N_{max}}{N_{рас}}, \quad (1)$$

где  $N_{max}$  - разрушающая нагрузка – предельное усилие, воспринимаемое фундаментом;  $N_{рас}$  – расчетная несущая способность фундамента (наименьшая из расчета на продавливание и изгиб).

Коэффициент запаса реальной живучести:

$$n_p = \frac{N_{max}}{N_{рег}}, \quad (2)$$

где  $N_{рег}$  – регламентированная несущая способность фундамента (граничное состояние по первой или второй группе предельных состояний).

Проведенные исследования позволяют выделить этапы разрушения отдельно стоящих фундаментов и соизмерить уровни нагрузки, при которой происходили локальные разрушения (повреждения), с разрушающей нагрузкой. В таблице 1 представлены характерные стадии деформации и разрушения отдельно стоящих фундаментов.

В рассмотренных экспериментах в количестве более 30 образцов оба коэффициента запаса живучести фундаментов изменялись в пределах 1,5 – 3,4 в зависимости от конструктивных особенностей фундаментов.

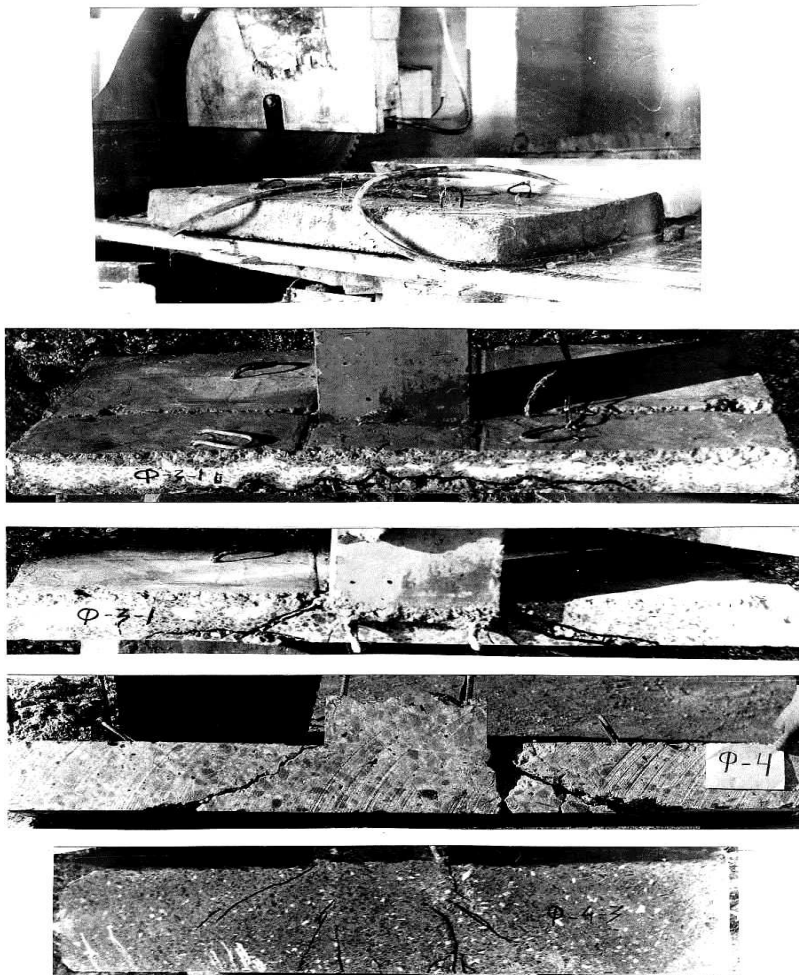


Рис. 4. Разрез фундаментов с толщиной плиты соответственно: 100, 150 и 300 м  
Fig.4. Section foundation plate thickness, respectively: 100, 150 and 300 m

Таблица 1. Стадии разрушения отдельно стоящих фундаментов  
Table 1. Stages of the destruction of separate foundations

| №  | Характеристика внешней нагрузки или ее уровня   | Процессы, происходящие в фундаменте  | Процессы, происходящие в грунте основания  | Стадия работы конструкции с точки зрения норм [1] | Стадия работы конструкции с точки зрения живучести |
|----|---|--|--|---|--|
| 1. | Допустимая  | Деформация (изгиб) плитной части   | Трансформация эпюры нормальных контактных напряжений под подошвой фундамента от седловидной к параболической.                                  | Нормальная работа конструкции                     | Нормальная работа конструкции                      |
| 2. |   | Образование нормальных трещин  |  |   |  |
| 3. | Достижение регламентированной нормами несущей способности. Переход к предельным нагрузкам | Раскрытие нормальных трещин в плите сверх регламентированной нормами величины, образование наклонных трещин      | Увеличение трансформации эпюры к параболической  | Достижение предельного состояния                  | Возникновение локальных повреждений                |
| 4. | Запредельная нагрузка   | Возникновение локальных повреждений бетона сжатой зоны у колонны   | Увеличение концентрации нормальных контактных напряжений под формирующейся пирамидой продавливания   | Работа в условиях аварийной ситуации              | Развитие локальных повреждений                     |
| 5. | Отказ фундамента от восприятия внешней нагрузки (выключение из работы)                    | Полное (тотальное) разрушение сжатой зоны бетона по периметру колонны, начало перемещения пирамиды продавливания | Превышение контактными напряжениями под пирамидой продавливания несущей способности грунта. Прогрессирующая неконтролируемая осадка фундамента | -   | Разрушение   |



Основными причинами высокой живучести отдельно стоящих фундаментов, позволяющей сохранять свою несущую способность при наличии повреждений и уровне запредельных нагрузок в 1,5 и более раз превышающих нагрузки, вызывающие первичные разрушения, являются:

- Объемное напряженное состояние сжатой зоны бетона в плитной части фундамента в наиболее опасной зоне, приводящее к переходу работы бетона от сжатия к смятию, нелинейной работе материалов;
- Переход арматуры от текучего состояния к состоянию упрочнения;
- Трансформация эпюры нормальных контактных напряжений в грунте на всех стадиях работы фундамента. Относительное снижение усилий в фундаменте на изгиб и продавливание, связанное с перераспределением нормальных контактных напряжений в грунте к центру подошвы фундамента.

Отсутствие какого либо из перечисленных факторов или снижение их влияния приводит к уменьшению живучести конструкции. Так исследования, проведенные Б.Ю.Барыкиным [4], [5], показали, что у перекрестных балочных фундаментов запасы прочности не столь велики, а превышение максимальных напряжений в сжатой зоне бетона над параметрическими значениями прочности бетона на одноосное сжатие в среднем составляет 20%.

Как показали экспериментальные и теоретические исследования, разрушение фундамента – достаточно продолжительный процесс, в ходе которого с повышением нагрузки возникают локальные разрушения (повреждения) в виде достижения напряжений текучести в арматуре, образования и раскрытия нормальных и наклонных трещин, последовательного разрушения сжатой зоны бетона у углов коротких граней колонны, а затем и на остальных участках по периметру колонны. Именно последовательный характер разрушения отдельно стоящих фундаментов и наличие перед потерей способности к восприятию нагрузки повреждений затрудняет использование для оценки их живучести имеющихся (в том числе нормативных) методик расчета на продавливание и изгиб, требует проведение теоретических исследований для разработки адекватных методик оценки живучести.

Не менее важна выработка критериев возможности дальнейшей эксплуатации конструкции без усиления или с усилением, учитывающих уровень запредельных нагрузок, воздействовавших на фундамент.

Данный вопрос непосредственно связан с получением конструкцией тех или иных повреждений. Учитывая, что расчетная несущая способность фундамента, как правило, меньше нагрузки, при которой возникают

регламентированные нормами предельные повреждения, возможны следующие ситуации:

- Запредельная нагрузка больше расчетной, но меньше регламентированной несущей способности конструкции;
- Запредельная нагрузка больше расчетной и регламентированной несущей способности, но меньше разрушающей.

Первый случай предполагает дальнейшую эксплуатацию фундаментов без выполнения каких либо мероприятий. Во втором случае возможность дальнейшей эксплуатации зависит от вида и степени повреждения. Для фундаментов такие виды повреждений, как образование нормальных и наклонных трещин с шириной раскрытия более 0,3 мм делают возможным дальнейшую эксплуатацию конструкции в случае последующего закрытия трещин до величины меньшей или равной 0,3 мм после уменьшения нагрузки. Эксплуатация фундаментов с возникшими фибровыми локальными разрушениями бетона без усиления сомнительна из-за изменения в дальнейшем схемы работы конструкции и требует более детального изучения. Решение вопроса о дальнейшей эксплуатации фундамента после запредельных воздействий связано и с необходимостью оценки дальнейшей работы системы здание-фундамент-грунт. Вследствие воздействия запредельных нагрузок могут возникнуть чрезмерные осадки фундамента как упругого, так и неупругого характера. Такие осадки, в зависимости от конструктивной схемы здания, могут привести к ее изменению и аварийному состоянию.

Соответственно, как фактор функциональной живучести отдельно стоящих фундаментов в системе здание-фундамент-грунт при воздействии запредельных нагрузок, должна рассматриваться величина осадки конструкции, в том числе и в соотношении с осадкой других фундаментов здания.

## ВЫВОДЫ

1. Разрушение фундаментов представляет собой процесс, происходящий одновременно с увеличением внешней нагрузки. В ходе этого процесса возникают локальные разрушения (повреждения) в виде достижения напряжений текучести в арматуре, образования и раскрытия нормальных и наклонных трещин, последовательного разрушения сжатой зоны бетона у углов коротких граней колонны, а затем и на остальных участках периметра колонны.

2. Величина разрушающей нагрузки, определяющая живучесть отдельно стоящих фундаментов, значительно превышает нагрузку, вызывающую локальные разрушения в конструкции и определяющую, в соответствии с нормами, его несущую способность. Коэффициент запаса живучести достигает 1,5 и более;

3. При оценке стойкости зданий и сооружений к прогрессирующему разрушению

должны рассматриваться не только надфундаментные конструкции, но и фундаменты во взаимодействии с грунтовым основанием. При этом в расчетах должна учитываться величина живучести конструкции (разрушающая нагрузка как);

4. Живучесть отдельно стоящих фундаментов зависит от таких факторов, как перераспределение нормальных контактных напряжения под подошвой, объемное напряженно-деформированное состояние конструкции, нелинейная работа материалов и др.;

5. Живучесть фундаментов, у которых в сжатой зоне бетона на ответственных участках возникает объемное напряженное состояние, значительно выше, чем у конструкций с одно- или двухосным сжатием на данных участках;

6. Существующие методики расчета фундаментов не позволяют оценить их живучесть, так как не учитывают имеющиеся локальные разрушения в конструкции и процессный характер самого разрушения. Необходима разработка методики оценки живучести фундаментов и интегрирование ее в методику оценки стойкости зданий и сооружений к прогрессирующему разрушению.

7. Как фактор функциональной живучести отдельно стоящих фундаментов в системе здание-фундамент-грунт при воздействии запредельных нагрузок, должна рассматриваться величина осадки конструкции, в том числе и в соотношении с осадкой других фундаментов здания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.6-98-2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. К.: Мінрегіонбуд України, 2011.- 73.
2. ДСТУ Б В.2.6-156:2010 Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. К.: Мінрегіонбуд України, 2011.- 118.
3. СТО-008-02495342-2009. Предотвращение прогрессирующего обрушения железобетонных монолитных конструкций зданий. Проектирование и расчет. - М.: ОАО ЦНИИПромзданий, 2009.-21.
4. Барыкин Б.Ю., Андронов А.В., Барыкин А.Б., 2011. Применение экспериментальных диаграмм « $\sigma$ п -  $\epsilon$ п» сжатого бетона при расчете перекрестно-балочных фундаментов для зданий на склонах //Строительство и техногенная безопасность. Сборник науч.трудов НАПКС.- Симферополь: НАПКС, Выпуск 39. - 9-19.
5. Барыкин Б., Барыкин А., 2012. К вопросу о биопозитивном строительстве на сложном рельефе // Motrol.- №6, 123-129.
6. Дьяков И.М., 1989: Особенности силового взаимодействия отдельно стоящих прямоугольных в плане фундаментов с песчаным

основанием при внецентренном приложении внешней нагрузки. /Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Днепропетровск, -21.

7. Клюева, Н.В. 2006. Экспериментально теоретические исследования живучести эксплуатируемых железобетонных рам при внезапных повреждениях. // Бетон и железобетон.- №6, 12-15.
8. Менанов Э. К вопросу надежности и долговечности сварных соединений строительных конструкций // Motrol.- №12D, 162-167.
9. Стекольников Ю.И., 2003. Живучесть систем. Теоретические основы. – М.: Политехника. – 155.
10. Чеботарева Е., 2010. Исследование напряженно-деформированного состояния отдельно стоящих двухслойных железобетонных фундаментов методом компьютерного моделирования // Motrol.- №12D, 156-161.
11. Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения. М., 2005. – 40.
12. Тихонов И.Н., Козелков М.М., Демидов А.Р. К проектированию зданий из железобетона с учетом защиты от прогрессирующего обрушения. – Бетон и железобетон, №6, 2006, 6-10.

#### EVALUATE THE SURVIVABILITY OF A DETACHED FOUNDATION BASED STUDY OF THEIR DESTRUCTION

**Summary.** Survivability foundation plays an important role in building resistance to the progressive destruction. This should be taken into account in the relevant calculations. Experimental studies of free-standing foundations have identified stages of structural collapse. Determine the ratio of the breaking load and the calculated bearing capacity. Reserve of vitality depends on the foundations of a large number of factors: the geometric characteristics of the structure, the design features, the strength characteristics of the materials, the eccentricity of external forces and others.

**Key words:** free-standing foundations, survivability design, progressive destruction.

## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА РОТОРНО-ЦЕНТРОБЕЖНОЙ МЕЛЬНИЦЫ ДЛЯ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА

Давид Райхман, Александр Симонов

Южный филиал Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет»

г. Симферополь, п.Аграрное, ЮФ НУБиП Украины «КАТУ», rectorat@csau.crimea-ua.com.

**Аннотация.** Приведено описание роторно-центробежной мельницы с подачей зерна через кольцевую щель, соосную ротору. Исследовано влияние параметров загрузочного патрубка и заслонки на подачу зерна. Введено понятие удельной подачи зерна через единицу площади кольцевой щели.

**Ключевые слова.** Роторная мельница, патрубок, заслонка, кольцевая щель, подача.

### ВВЕДЕНИЕ

Основными элементами разрабатываемой роторно-центробежной мельницы [10;11;12] являются (рис.1) ротор 1 с лопатками 2, камера измельчения 11 с мишенями 3, фланцевый электродвигатель 13. Ротор установлен сверху на вертикальном валу электродвигателя. Днище 12 камеры измельчения закреплено на фланце электродвигателя, что обеспечивает соосность ротора и камеры измельчения. Мишени располагаются по всей окружности внутренней поверхности боковины камеры. Крышка 4 камеры измельчения выполнена съемной. В центре крышки располагается загрузочный цилиндрический патрубок 5, к которому сверху примыкает конусная воронка-бункер 6 для зерна. Над патрубком сверху располагается круглая заслонка 8, закрепленная на валике 9 с резьбой. Положение заслонки

регулируется при вращении валика рукояткой 10 во втулке, закрепленной перемичками 7 в бункере. Вначале заслонкой закрывают патрубок, засыпают зерно в бункер, включают электродвигатель и перемещают заслонку вверх. Между заслонкой и патрубком образуется кольцевая щель, через которую зерно поступает в камеру измельчения, попадает под многократные удары лопаток и по мишеням, измельчается и выбрасывается через окно в тангенциальном направлении. При равномерном поступлении зерна на все мишени обеспечиваются оптимальные условия для работы мельницы. В этом случае все мишени нагружены равномерно. Соосная ротору кольцевая щель обеспечивает равномерную подачу зерна в зону измельчения. Задача состоит в обосновании основных параметров загрузочного устройства – диаметров патрубка и заслонки, высоты подъема заслонки.

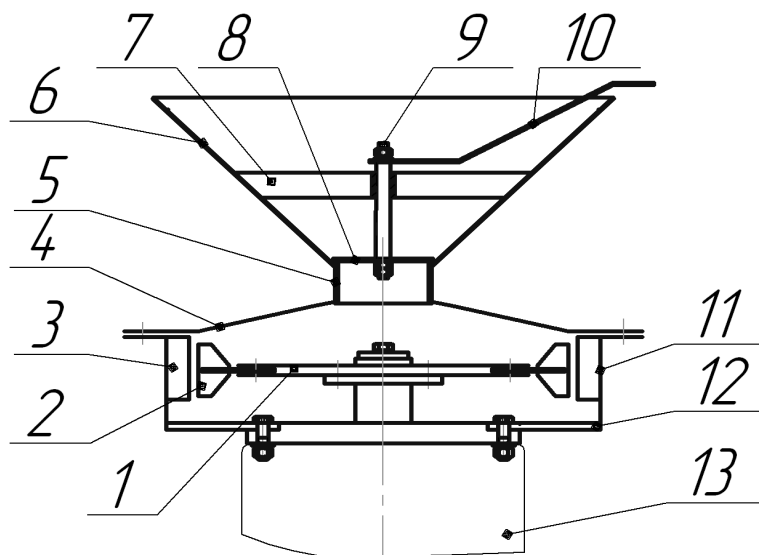


Рис. 1. Схема роторно-центробежной мельницы. Обозначения в тексте.

Fig.1. The scheme of the rotary-centrifugal mill. The notation in the text.

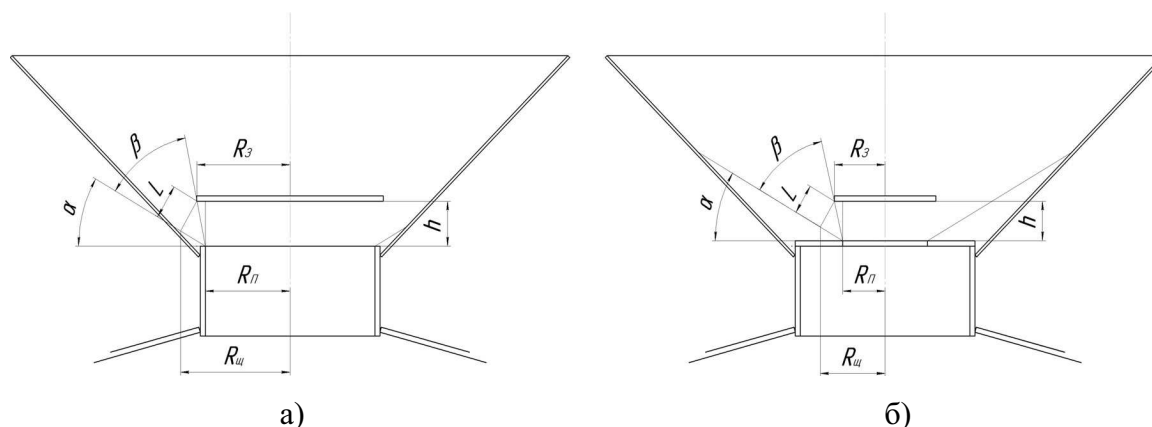


Рис. 2. Расчётные схемы загрузочного устройства: а – без кольца; б – с промежуточным кольцом.  
Fig. 2. Payment schemes boot device: a - without ring; b - with intermediate ring.

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Рассмотрим условия движения зерна через кольцевую щель. Подача зерна (производительность) зависит от площади кольцевой щели и скорости движения в ней зерна. Диаметр заслонки превышает диаметр патрубка, кроме того, патрубок входит внутрь бункера (рис.2,а). В этом случае минимальная площадь щели равна:

$$F = \pi L (R_z + R_{из}), \quad (1)$$

где  $L$  – длина образующей минимальной конусной поверхности кольцевой щели;

$$L = \sqrt{h^2 + (R_z - R_n)^2} \sin \beta \quad (2)$$

$h$  – высота подъема заслонки над патрубком;

$R_z$  – радиус заслонки;

$R_n$  – внутренний радиус патрубка;

$$\beta = \frac{\pi}{2} - \alpha - \arctg (R_z - R_n) / h$$

$\alpha$  – угол естественного откоса зерна;

$$R_{из} = R_n + \sqrt{h^2 + (R_z - R_n)^2} \cos \alpha \cos \beta.$$

В случае применения промежуточного кольца над патрубком (рис. 2,б) для вычисления площади щели применяется также формула (1) с заменой радиуса  $R_n$  на радиус отверстия в кольце. Длина образующей  $L$  (или ширина щели) зависит от управляемых факторов - высоты подъема заслонки и от разности радиусов заслонки и патрубка. Ширина щели не может быть сколь угодно малой, так как при недостаточной ее величине возникают устойчивые своды, и истечение зерна прекращается. Минимальная допустимая ширина щели зависит от размеров зерен. По рекомендации Л.В. Гячева [3] ширина

щели должна быть не менее пяти диаметров зерна. При эквивалентных диаметрах зерен

пшеницы 4 мм, ячменя 5.75 мм ширина щели должна быть не менее 20-29 мм. В другой работе [2] предельный диаметр сводообразующего отверстия для хорошо сыпучих грузов (к каким можно отнести зерна пшеницы и ячменя) предлагается определять по формуле:

$$d_{нф} = A e^{b a}, \text{ мм}, \quad (3)$$

где  $A$  и  $b$  – постоянные ( $A=4,64$ ;  $b=0,244$ );

$a$  – наибольший размер средней частицы груза, мм.

Для предлагаемой формулы выбрать значение  $a$  проблематично, так как в ее характеристике имеется противоречие. Если принять  $a$  равным эквивалентным диаметрам зерен, то получим для пшеницы  $d_{нф} = 12$  мм, для ячменя 18,9 мм. Неоднозначность рекомендаций, полученных при разных условиях экспериментов, приводит к необходимости определения минимальной ширины щели на основе собственных исследований. В формулах для вычисления скорости высыпания сыпучих грузов из отверстий бункера, предложенных на основе теоретических предпосылок, используются экспериментальные коэффициенты. В связи с чем, воспользуемся экспериментальными зависимостями. Наиболее приемлемой считаем формулу, предложенную И.Е. Кожуховским и Г.Т. Павловским [5]:

$$V = C \sqrt{R_z}, \text{ м/с}, \quad (3)$$

где  $C$  – постоянная, равная для крупнозернистого материала  $C=1,65 \dots 2,75$ ;

$R_z$  – гидравлический радиус выпускного отверстия (м), представляющий собой отношение площади отверстия к его периметру.

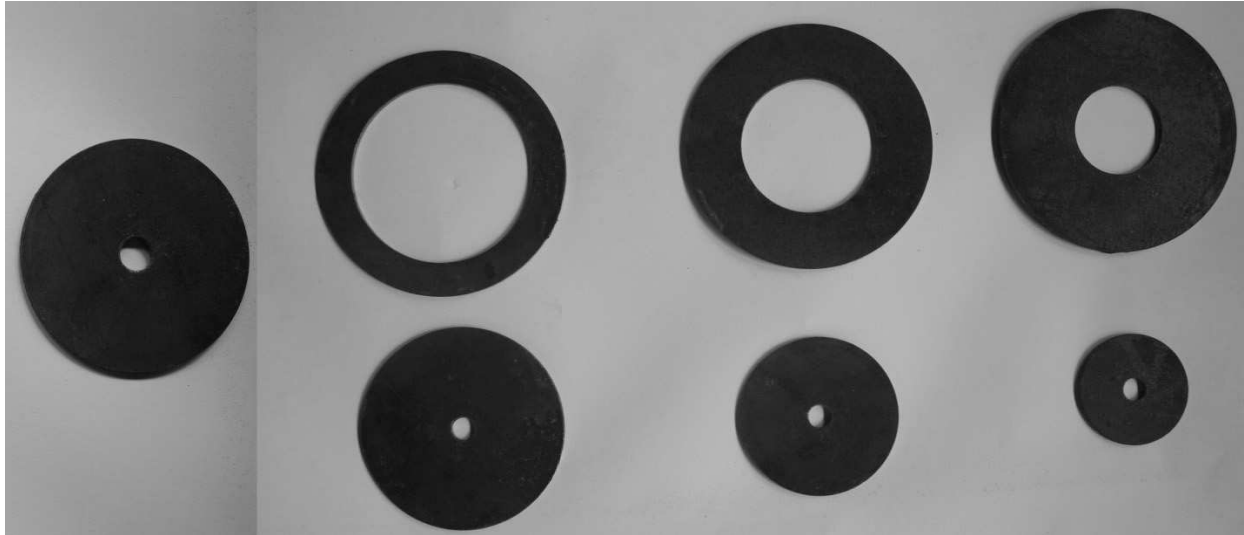


Рис. 3. Заслонки и промежуточные кольца.

Fig. 3. Flap and intermediate rings.

Формула (3) предложена для горизонтально расположенного отверстия, при высыпании зерна в боковую щель по углу  $\alpha$  естественного откоса введем уточнение

$$V = C \sin \alpha \sqrt{R_z}, \text{ м/с}, \quad (5)$$

$$\text{где } R_z = \frac{\pi L (R_z + R_{щ})}{2\pi R_z + 2\pi R_{щ}} = \frac{L}{2} \quad (6)$$

Исследования проводились на снятой верхней крышке мельницы с загрузочным бункером. Исследовался загрузочный патрубок с внутренним диаметром 100 мм и заслонкой диаметром 110 мм (рис. 2 а), а также с промежуточными кольцами с отверстиями в кольце  $\varnothing 80$  мм, (заслонка  $\varnothing 90$  мм),  $\varnothing 60$  мм (заслонка  $\varnothing 70$  мм),  $\varnothing 40$  мм (заслонка  $\varnothing 50$  мм) (рис. 2, 3). Исследования проводились на основных фуражных культурах – пшенице с объемной массой  $\gamma = 750$  кг/м<sup>3</sup>, ячменем  $\gamma = 600$  кг/м<sup>3</sup>. Влажность зерна составляла 10-11%. Минимальная высота подъема заслонки принята  $h = 15$  мм, так как при меньшем подъеме заслонки подача зерна через кольцевую щель была нестабильной. При угле естественного откоса  $\alpha = 30^\circ$  и принятой разнице радиусов заслонки и патрубка 5 мм по формуле (2) находим минимальную длину щели  $L = 10,5$  мм, что аналогично данным статьи [14]. Высота  $h$  изменялась в диапазоне от 15 до 35 мм с шагом 5 мм. В каждом варианте загрузочного устройства опыты проводились в трех повторностях. Время прохода зерна замерялось секундомером, масса навески зерна (5 кг) взвешивалась до засыпки в бункер на лабораторных весах марки AXIS A5000 с точностью 0,1 гр. Результаты опытов представлены зависимостями (7;8) и графиками рис. 4. Для обработки экспериментальных данных

использовалась надстройка «Анализ данных» в программе Microsoft Excel [1,4,6]. При аппроксимации данных принято, что зависимость подачи  $Q$  (кг/ч) от диаметра патрубка  $D$  (мм) линейная (так как диаметр определяет, по сути, только длину щели) и степенная от высоты подъема заслонки  $h$  (мм). Уравнение для пшеницы имеет вид:

$$Q = 0,002 h^{2,78} D \quad (7)$$

для ячменя:

$$Q = 0,00011 h^{3,47} D \quad (8)$$

Для оценки качества полученных моделей использованы коэффициенты детерминации  $R^2$  и критерий Фишера  $F$ . Для пшеницы  $R^2 = 0,98$ ;  $F = 416$ , для ячменя  $R^2 = 0,97$ ;  $F = 275$ . Значения  $R^2$  достаточно близки к единице, а критерии Фишера значительно больше критических. Таким образом, полученные уравнения позволяют прогнозировать значения производительности загрузочного устройства в исследованном диапазоне факторов [7,8,9,13].

Результаты опытов позволяют вычислить удельную подачу зерна  $q$  ( $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$ ), то есть подачу зерна на единицу площади минимальной кольцевой щели (так как от диаметра патрубка этот показатель не зависит), а также скорость движения зерна  $V_{щ}$  (м/с) в той же минимальной кольцевой щели:

$$q = \frac{Q}{3600 \pi L (R_{щ} + R_z)}; \quad (9)$$

$$V_{щ} = \frac{Q}{3600 \gamma \pi L (R_{щ} + R_z)}; \quad (10)$$

где  $Q$  – подача, кг/ч;  $L$  – длина образующей щели, мм;  $R_{щ}; R_z$  – радиусы щели и заслонки, мм;  $\gamma$  – объемная масса зерна, кг/м<sup>3</sup>.

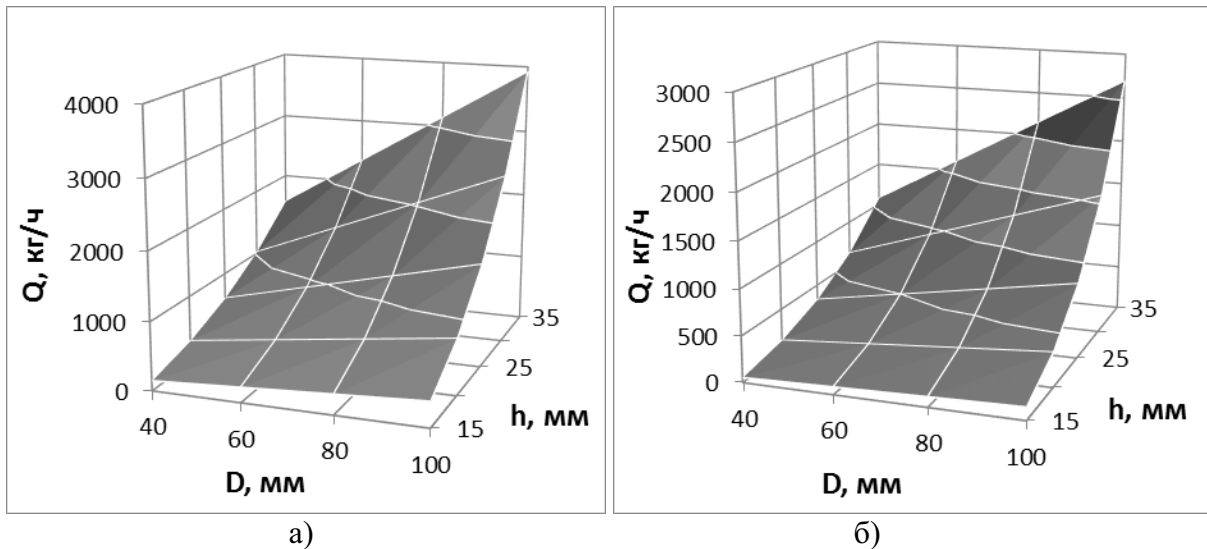


Рис. 4. Зависимость производительности Q от диаметра патрубка d и высоты поднятия заслонки h: а - пшеница; б - ячмень.

Fig.4. Dependence of the performance of the nozzle diameter and the height of lifting flaps: а – wheat; b – barley.

Результаты расчетов представлены графиками (рис. 5;6) и зависимостями для пшеницы:

$$q = 0,2366 \ln(h) - 0,5766; R^2 = 0,9902 \quad (11)$$

$$V_{\phi} = 0,0755 \ln(h) - 0,1762; R^2 = 0,9745 \quad (12)$$

для ячменя:

$$q = 0,2081 \ln(h) - 0,5413; R^2 = 0,9977 \quad (13)$$

$$V_{\phi} = 0,0873 \ln(h) - 0,2225; R^2 = 0,9947 \quad (14)$$

по формуле (5)

$$V = 0,0018 h + 0,0336; R^2 = 0,9944 \quad (15)$$

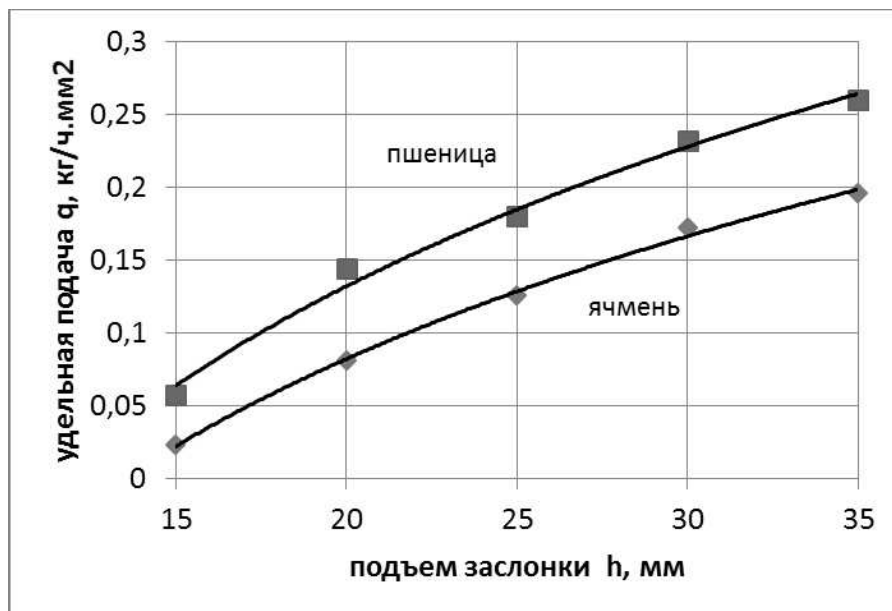


Рис. 5. Зависимость удельной подачи от высоты подъема заслонки.

Fig. 5. Dependence of the specific supply of valve lift height.

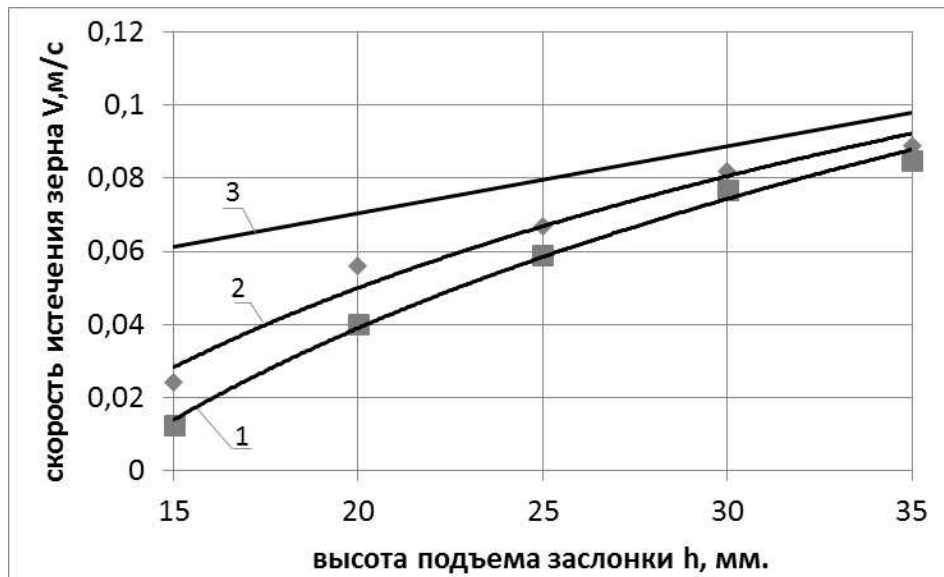


Рис. 6. Зависимости скорости истечения зерна  $V$  из кольцевой щели от высоты подъема заслонки  $h$ : 1 – для ячменя; 2 – для пшеницы; 3 – по формуле (5).

Fig. 6. Depending on the velocity of the grain from the annular gap on the valve lift height: 1 - for barley, 2 - for wheat, 3 - by the formula (5).

По графикам видно, что удельная подача увеличивается с увеличением высоты щели в исследованном диапазоне. Можно предположить, что при дальнейшем увеличении высоты  $h$  значение  $q$  достигнет постоянного максимального значения, равного подаче зерна при отсутствии заслонки. Чем меньше диаметр заслонки, тем быстрее наступит предельная подача. Фактическая скорость движения зерна в минимальной щели меньше вычисленной по формуле (5), но с увеличением высоты  $h$  значения скоростей сближаются. Несовпадение скоростей объясняется тем, что экспериментальный коэффициент  $C$  в формуле (5) определен для больших отверстий, чем в наших опытах. Совпадение скоростей можно получить, уточнив значение коэф.  $C$  (например,  $C=0,6...1,5$ ).

## ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволяют выбрать диаметры патрубка и заслонки, высоту подъема заслонки в зависимости от размеров зерна и расчетной производительности мельницы. Вместе с тем, надо учесть, что загрузочное устройство исследовалось при свободном истечении зерна. При работе мельницы неизбежна вибрация, передающаяся на загрузочное устройство, что способствует увеличению подачи зерна.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гербер Ю., Гаврилов О., 2009. Оптиміальні режими подрібнення кісточкових плодів у

- роторній дробарці. – Motrol. Motorization and power industry in agriculture. Simferopol - Lublin, Vol. 11., P. 66 – 72.
2. Горюшинский И.В., 2003. Емкости для сыпучих грузов в транспортно-грузовых системах. Самара: СамГАПС, 232 с.
3. Гячев Л.В., 1986. Основы теории бункеров и силосов. — Барнаул, 84 с.
4. Ерошин Сергей, Голубенко Александр. 2008. Concept of developing machines and devices with the direct rotation of rotor without mechanical supports. Концепция разработки машин и устройств с прямым вращением ротора без механических опор. - Motrol. Motorization and power industry in agriculture. - Simferopol - Lublin. - Vol. 10A. – P. 37 - 47.
5. Кожуховский И.Е., Павловский Г.Т., 1968. Механизация очистки и сушки зерна. — М.: Колос, 439 с.
6. Корохов В., Бурова И., 2010. Особенности конструкций и расчет мощности энергосберегающих дробилок для минерального и органического сырья. – Motrol. Motorization and power industry in agriculture. Simferopol - Lublin, Vol. 12D, P. 86 - 95.
7. Лещинський О.Л., Рязанцева В.В., Юнькова О.О., 2003. Економетрія: Навч. посібник для вищ. наук. закладів. – К: МАУП, 207 с.
8. Макарова Н. В., Трофимец В. Я., 2002. Статистика в Excel: Учеб. пособие. — М.: Финансы и статистика, 368 с.
9. Менчер Э.М., Земшман А.Я., 1986. Основы планирования эксперимента. — Кишинев: Штиинца, 240 с.

10. Райхман Д.Б., Симонов А.В., 2011. К вопросу выгрузки продуктов измельчения из мельницы с вертикальной осью вращения ротора. – Научные труды ЮФ НУБиП Украины «КАТУ». – Серия «Технические науки», выпуск 138, с. 109-113.
11. Райхман Д.Б., Симонов А.В., 2011. Роторная мельница. - Патент Украины №65358. Бюл. №23.
12. Райхман Д.Б., Симонов А.В., 2012. Роторная мельница. - Патент Украины №68660. Бюл. №7.
13. Степнов. М.Н., 1985. Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник. – М.: Машиностроение, 232 с.
14. Стибель І.В., Тимошенко С.П., Муляр В.О., 1993. Дослідження процесу дозування насіння дозатором проточно-кільцевого типу. — Міжвідомчий тематичний науково-технічний збірник. Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 78. С. 3-8.

MAKING PARAMETERS BOOD DEVICE  
ROTOR-CENTRIFUGAL MILL FOR FEED  
GRAIN

**Summary.** The description of the rotary-centrifugal mill with feed grains through the annular gap, coaxial rotor. The effect of the boot fitting and valves to supply grain. Introduced the concept of the specific feed grains per unit area of the annular gap.

**Keywords.** Rotor mills, pipe, valve, ring slit, pitch.



## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ АВТОМОЕК

Илья Николенко<sup>1</sup>, Александр Демков<sup>1</sup>, Михаил Мануйлов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальная академия природоохранного и курортного строительства

<sup>2</sup>НТУ «Харьковский политехнический институт»

**Аннотация.** В статье рассмотрены проблемы очистки сточных вод на очистных сооружениях автомобильных моек. Проанализированы конструкции известных технологических схем очистки сточных вод автомоек. Предложена принципиально новая технологическая схема очистки сточных вод автомоек, которая опирается на экономическую целесообразность с максимальным уменьшением капитальных затрат и максимальной пропускной способностью.

**Ключевые слова:** автомойка, оборотные системы, фильтры, напорный флотатор, сточная вода, загрязнения, очистка, горизонтальный отстойник, полипропилен.

### ВВЕДЕНИЕ

Увеличение численности автомобилей во второй половине XX века привело к качественному изменению экологии техноприродных геосистем, так как транспортные средства являются источником и причиной одного из мощных источников загрязнения природной среды. При эксплуатации автомобилей в результате воздействия целого ряда внешних и внут-ренних факторов происходят необратимые ухудшения их технического состояния. К внешним факторам относятся технический уровень эксплу-атации, обслуживания и ремонта, дорожные, кли-матические и сезонные условия, а также агрессивность окружающей среды и др [14,15,16]. Мойка автомобиля является одной из основных технологических операций в комплексе работ по поддержанию работоспособного состояния, обеспечению надежности, экономичности работы, безопасности движения и защите окружающей среды. С другой стороны, бизнес в области мойки автомобилей в настоящее время один из самых рентабельных, что обуславливает широкий спектр предложений на рынке как автомоек, так и оборудования для них.

В результате мойки транспортных средств образуются сточные воды, которые по составу идентичны первым порциям поверхностного дождевого стока, что определяется общими источниками формирования химического и бактериологического состава загрязнений, которые накапливаются на транспортных магистралях и городских территориях [1, 2]. В последнее время обеспечивается устойчивая тенденция к увеличению автомоек, которые функционирует в соответствии с действующим экологическим законодательством по замкнутому циклу водоснабжения. С учетом того, что в настоящее время объекты автомобильного сервиса являются одними из прибыльных и распространенных видов бизнеса, основными критериями работы технологических схем очистных сооружений является их качество, технико-экономическая эффективность на разных режимах

эксплуатации, а также надежное обеспечение экологической безопасности.

Качественно очистить автомобиль от загрязнений только с помощью воды под большим давлением с малыми затратами невозможно. Поэтому в технологических схемах очистных сооружений применяются специальные моющие средства, содержащие поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые также попадают в сточные воды автомоек. Опаснейшими веществами, которые содержатся в сточных водах автомоек, и наносят значительный вред окружающей среде, в частности водным объектам, являются нефтепродукты, соли тяжелых металлов, ПАВ, автошампуни, биологи-ческие загрязнения и т. д. По действующим нормативным документам воды от мойки автомашин допускается сбрасывать в городскую сеть дождевой канализации только после их очистки на локальных очистных сооружениях. Основным требованием экологического законодательства – использование для мойки автомобилей только оборотную воду, а питьевую – как обоснованное исключение.

Системная и качественная очистка сточных вод автомоек в настоящее время является важной составляющей экологической безопасности. Поэтому исследование процессов распространения загрязнений в окружающей среде, которые содержатся в сточных водах автомоек, для урбанизированных территорий является одной из актуальных и приоритетных экологических задач [3, 13].

### СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Состав сточных вод, их свойства зависят от времени года, метеорологических и климатических условий, состояния дорог, технического состояния автомобиля, а также технологических схемы мойки.

На качество и производительность техно-логической операции - мойки большое влияние оказывают состав, концентрация и температура моющих растворов; давление раствора и угол наклона струи относительно промываемой

поверхности; расстояние от насадки до промывочной поверхности и продолжительность воздействия струи на очищаемый участок поверхности автомобиля.

Технологические схемы мойки автомобилей отличаются составом, температурой и давлением воды, способом ее подачи и отведения, уровнем автоматизации, системой подачи воды на очищаемую поверхность, качеством и временем мойки. Мойка автомобиля может выполняться при низком (до 0,2 МПа), среднем (до 0,9 МПа) и высоком (до 15 МПа) давлении. В настоящее время максимальную производительность обеспечивают автомойкам струйные установки высокого давления. Способ струйной очистки более производителен, снижает ее себестоимость, а также способствует сохранности лакокрасочных покрытий. При мойке в установках высокого давления насосные агрегаты могут быть оборудованы системами нагрева воды, подачи моющих веществ, защиты и автоматики.

Технологические схемы очистки сточных вод автомоек включает разные варианты их реализации по структуре, составу, а также техническим средствам. В комплекс очистных сооружений, как правило, входят сооружения механической очистки. В зависимости от необходимой степени очистки технологические схемы дополняются сооружениями физико-химической и биологической очистки. Любая система очистки сточных вод на автомойке должна планироваться комплексно, с учетом производительных мощностей самой мойки, количества используемых водных ресурсов, типа попадающих в жидкость загрязнителей, их состава и концентрации. Система очистки сточных вод автомойки в водооборотных схемах должна обеспечить качество воды, допустимое для последующего мытья транспортных средств: взвешенные вещества - 3 мг/л; запах - 2 балл; окраска 10 см; БПК<sub>5</sub> - 3 мгО<sub>2</sub>/л; ХПК - 30 мг О<sub>2</sub>/л; общие колиформные бактерии - 20 (в 100 мл); термотолерантные колиформные бактерии - 10 (в 100 мл); колифаги - 10 (в 100 мл) [4].

Учитывая сложный и разнородный состав загрязнений сточных вод, в технологических схемах очистных сооружений автомоек применяется несколько этапов очистки. Первичная очистка в автомойке и механическое отделение воды от нерастворимых загрязнений возможна с применением простейших методов, включающих отстаивание и фильтрование. Наиболее простые схемы очистки сточных вод автомоек содержат фильтры грубой очистки, на которых удаляются взвешенные вещества и частично нефтепродукты. Доочистка выполняется на фильтрах тонкой очистки, после чего вода подается на вторичное использование. Такая простая технологическая схема обеспечивает очистку нефте-содержащих сточных вод транспортных предприятий с показателями качества - 1...3 мг/л по нефте-

продуктам и 5...10 мг/л по взвешенным веществам при исходной концентрации сточных вод до 300 мг/л по нефтепродуктам и до 1000 мг/л по взвешенным веществам. Существенным недостатком такой технологической схемы очистки является сохранение в сточной воде растворимых и биологических загрязнений, которые накапливаются в оборотной воде автомойки.

В технологической схеме очистки сточных вод автомоек НПП «Полипром» существующие оборотные системы снабжены блоком, включающим бактерицидную обработку воды. Блок состоит из 2-х секционного фильтра с регенерируемой пенополиуретановой загрузкой и сертифицированным ультрафиолетовым стерилизатором, который обеспечивает практически полное уничтожение бактерий и вирусов. Выбор данной бактерицидной обработки обусловлен запретом на использование реагентных методов очистки в случае возможности отведения стоков на городские сооружения биологической очистки. Недостаток такой оборотной системы водоснабжения является несовершенство пенополиуретанового фильтра при его эксплуатации, что не позволило данной схеме получить широкое применение.

Очистное оборудование серии «Мойдодыр-М» предназначено для очистки сточных вод в системах оборотного водоснабжения автомоек с применением специальных ПАВ. Эти очистные сооружения для автомоек состоят из гидроциклона, тонкослойного полочного отстойника, фильтра с плавающей загрузкой, системы дозирования коагулянта и блока управления. Данное очистное сооружение оборудовано нефтеотделителем, флотатором, системой дозирования коагулянта и автоматическим дозатором хлора для автомоек. Технологическая схема очистных сооружений автомоек с очистным блоком серии «Мойдодыр-М» показана на рис. 1. В состав основного оборудования входят блок форсунок 1, моечный пистолет 2 для очистки водосборных лотков, очистная установка «Мойдодыр» 3, отстойник накопитель 4, бак буферный с теплоизоляцией и подогревом 5, бак шламосборный 6, насос шламочный 7, насос погружной 8, насос моечный 9, компрессор 10. Очистная установка «Мойдодыр-М» разработана специально для глубокой очистки стоков автомойки.

Технологическая схема требует существенной модернизации, так как основными недостатками очистных сооружений для автомоек серии «Мойдодыр-М» являются отсутствие дополнительной емкости для стабилизации гидравлического режима очистки сточных вод с большим режимом включения напорного флотатора, и фильтра, а также применение хлорирования и коагулирования для компенсации относительно низкой эффективности очистки фильтра с плавающей загрузкой.

Существующие технологические схемы, методы и технологии, которые используются для очистки стоков автомоек, не всегда удовлетворяют требованиям, которые установлены нормативными документами. Усовершенствование существующих, разработка принципиально новых технологических схем очистных сооружений для автомоек представляет важную научно прикладную задачу.

В связи с этим, возникает задача поиска новых технологических и технических решений, снижающих уровень их экологического воздействия

до уровня регламентированных показателей, оговоренных в стандартизованных документах (ГОСТы, ТУ, СанПиН, ДСТУ, МУ и т.д.), а также обеспечивающие рациональное использование материальных и энергетических ресурсов. Очистные сооружения для автомоек могут быть использованы для очистки их сточных вод перед сбросом в систему канализации, оборотного водоснабжения моечного оборудования, а также и очистки поверхностного стока с территории вокруг автомойки.

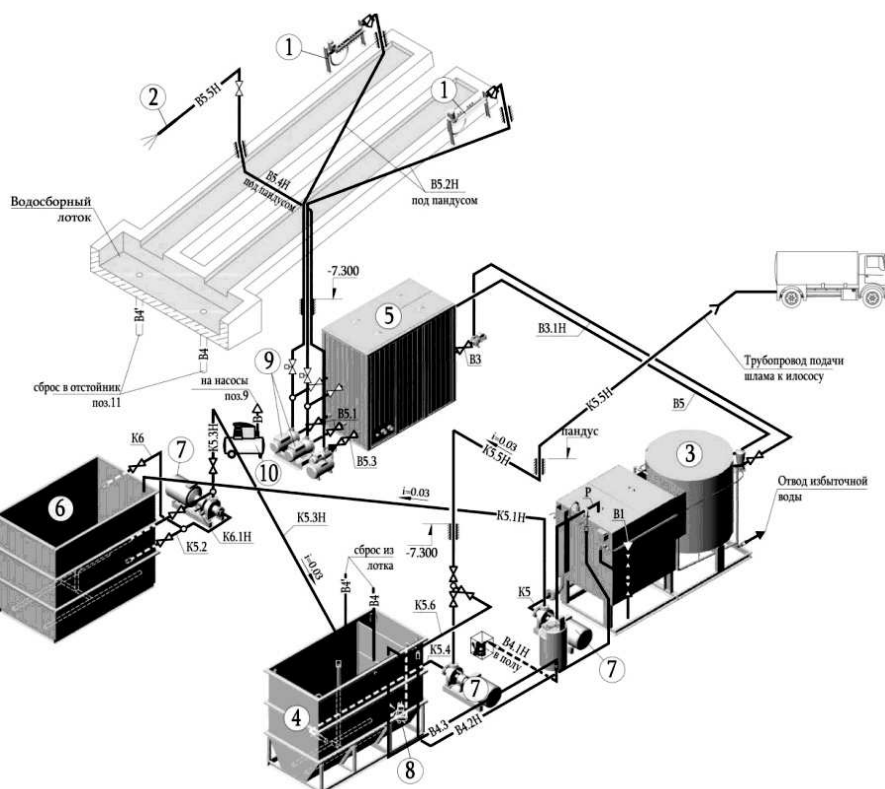


Рис.1. Технологическая схема автомоек с очистным блоком серии «Мойдодыр-М»  
Fig.1. Flowsheet of the autowashing with the cleansing block of series «Mojdodir-M»

## ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Предлагается концепция очистных сооружений автомойки, которая опирается на экономическую целесообразность: максимально уменьшить капитальные затраты на строительство зданий и максимально нарастить пропускную способность предприятия автомойки. На основании этого предлагается общая концепция для строительства автомойки (или использовать уже имеющееся здание размерами 5x4x3 (м) и более). Внутри этого здание располагается все имеющееся электрическое оборудование управления, бытовые помещения для обслуживающего персонала. Оборудование очистки воды предлагается размещать на открытых площадках. Мойку

автомобилей можно также производить на открытых технологических площадках, что всецело оправдано в жаркие летние дни, или под специальными тентами, выпускаемых в настоящее время.

Основным технологическим элементом очистки стоков является динамический отстойник прямоугольной формы. Физический смысл его работы заключается в движении очищаемой воды по горизонтали от входа до выхода. Во время такого движения очищаемая вода очищается: легкие дисперсные примеси поднимаются на поверхность, а тяжелые – опускаются. Динамический отстойник – нефтеловушку рассчитывается по А.И. Жукову [5].

Скорость горизонтального движения стоков в отстойнике не должна превышать 10...12 мм/с, а с учетом рекомендаций [6] скорость на входном

трубопроводе отстойника 0,5 м/с. Исследования ВНИИВОДГЭО [5] показали, что при очистке сточных вод от нефтепродуктов, целесообразно выделять нефтяные частицы гидравлической крупностью 0,7 мм/с и более, т.е. фракционный состав капелек нефти более 80 мкм. Средняя скорость горизонтального движения воды в нефтеловушки  $U_{cp}$  обычно принимается в пределах 4...6 мм/с, степень задержания нефтепродуктов при этом составляет соответственно 70...60%. Рекомендованная гидравлическая нагрузка нефтеловушки до 4 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> в 1 час [5]. Охватывающая скорость осаждения органического шлама редко превышает 0,5 мм/с, а часто находится в пределах 0,05...0,2 мм/с, а горизонтальная скорость движения воды – 3...5 мм/с [5].

Отстойник условно разделен на три участка  $l_1, l_2, l_3$ . На первом участке происходит подача очищаемой воды и ее распределение по всему живому сечению отстойника. Длина этого участка по рассчитывается по эмпирической формуле:

$$l_1 = \left( \frac{H - h_o}{k} \right)^{-1,15}$$

где  $h_o$  – высота движущегося слоя в начале отстойника,  $k$  – коэффициент, определяемый по графику в зависимости от скорости в начале отстойника, показанном на рис. 2 [5].

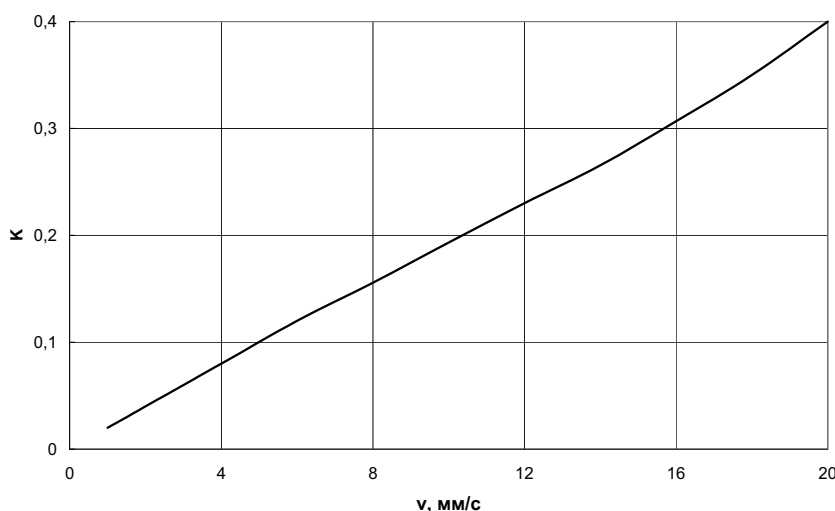


Рис. 2. Зависимость коэффициента  $k$  от горизонтальной скорости движения воды в отстойнике.  
Fig. 2. Dependence of coefficient on the horizontal rate of movement of water in tank for sedimentation

На начальном участке средняя глубина потока отстойника

$$h_{cp} = \frac{H + h_o}{2,15},$$

а скорость потока

$$v_1 = v_{cp} \cdot \frac{H}{h_{cp}}.$$

Продолжительность отстаивания в этой зоне

$$t_1 = \frac{l_1}{v_1}$$

Путь этой частицы по вертикали составит

$$h_1 = t_1 \cdot (u_0 - w_2).$$

Для определения длины второго участка определим время движения частицы примеси от поверхности до дна отстойника.

$$t_2 = \frac{H - h_1}{u_0 - w_2},$$

где  $H$  – глубина отстойника;  $h_1$  – путь движущейся частицы по вертикали в первой зоне;  $u_0$  – наименьшая скорость осаждения (всплытия) задерживаемых частиц в сточной воде, находящейся в состоянии покоя.  $w_2$  – добавочная скорость для частицы, оседающая в потоке, который движется со скоростью  $v_{cp}$ .

Приближенное значение добавочной скорости принимается

$$w_2 \approx \frac{v_{cp}}{30},$$

где  $v_{cp} = \frac{q}{BH}$  – средняя скорость стоков в отстойнике,  $q$  – расход стоков,  $B$  – ширина отстойника.

С учетом времени осаждения частиц загрязнений длина участка отстойника

$$l_2 = t_2 \cdot v_{cp}$$

В конечном участке отстойника  $l_3$  скорость потока увеличится, и условия осаждения ухудшатся. Для обычных водосливов длина конечных участков определяется по зависимости

$$l_3 = \frac{H}{\operatorname{tg} \alpha},$$

где  $\alpha$  – угол сужения потока у выхода из отстойника, обычно принимается  $\alpha = 25 \dots 30^\circ$ .

Гидродинамический режим отстаивания довольно сложный, поэтому основная рабочая часть отстойника – участок 2, имеет длину приблизительно равную суммы первого и второго участка. Чтобы улучшить эти показатели, Хазным было выдвинуто положение о транспортирующей способности потока (параметр обратный осаждению) [7]:

$$K_0 = \frac{Q \cdot C \cdot H}{F},$$

где  $K_0$  – коэффициент, характеризующий транспортирующую способность потока,  $Q$  – расход,  $C$  – концентрация взвеси;  $F$  – площадь отстаивания.

Физический смысл этого положения заключается в том, что разделение высоты потока  $H$  на более мелкие отрезки одновременно увеличивает площадь отстаивания  $F$  и снижает удельную нагрузку на нее по взвеси.

Для реализации этого принципа отстаивания необходимо дополнительно выполнить расчет и экспериментальные исследования по скорости осаждения.

Для улучшения гидравлического режима отстойника путем уменьшения вихревых потоков до минимума на трех рассматриваемых участках отстойника в патенте [8] предложено полностью перегородить живое сечение отстойника на каждом участке тонкими синтетическими сетками с мелкой ячейкой (до  $1 \text{ мм}^2$ ). Размер ячейки сетки должен быть такой, чтобы перед сетками создавалось небольшое гидравлическое сопротивление  $\Delta h = 0,01 \dots 0,002 \text{ м}$ . Это сопротивление и выравнивает среднее горизонтальное движение воды в отстойнике. Очистка сеток простая – за счет перекручивания через блоки сетку на  $180$  градусов.

Напорная флотация особенно эффективна при очистке от СПАВ, где другие методы не так эффективны. Это обуславливает применение этого метода после предочистки седиментацией отстойнике. Напорная флотация имеет высокую эффективность при удалении физико-химическим способом механических и органических примесей. При незначительном времени пребывания сточных

вод во флотационных установках ( $20 \dots 40$  мин) обеспечивается высокий эффект очистки до  $90\%$  от нерастворимых примесей и взвешенных веществ. Это предопределило перспективность метода и возможность его использования для очистки сточных вод как промышленных, так и бытовых. Очистка флотацией сточных вод сопровождается одновременно процессами аэрации, снижения концентрации ПАВ, бактерий и микроорганизмов [5, 6, 12].

Физический смысл напорной флотации заключается в резком уменьшении давления до атмосферного в насыщенном более  $2\%$  водовоздушном растворе, при котором примеси из очищенной воды вместе с пузырьками воздуха локализуются на поверхности зеркала воды.

Для эффективного проведения напорной флотации необходимо соблюдение следующих требований:

- диспергирование воздуха под давлением перед флотатором;
- растворение диспергированного воздуха в воде перед флотатором не менее 3 минут, в соответствии с графиками растворения показанного на рис. 3;
- растворение воздуха  $2 \dots 10\%$  от объема перекачиваемых стоков.

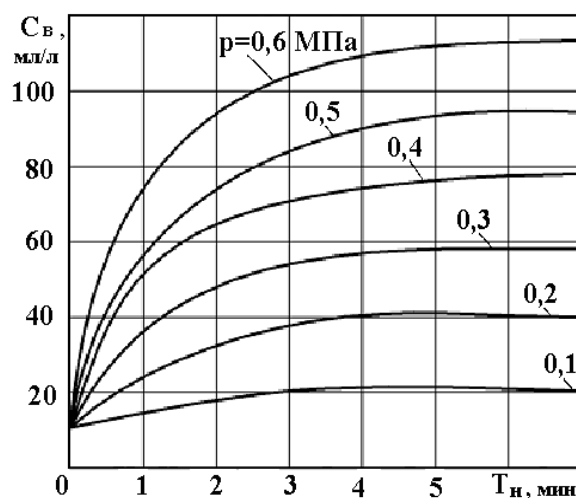


Рис. 3. Графики растворения воздуха при различных давлениях  
Fig. 3. Charts of dissolution of air at different pressures

Последнее требование можно достичь двумя способами:

- до  $2\%$  с помощью эжектора флотационного насоса;
- до  $10\%$  с помощью сжатого воздуха, подаваемый в напорный трубопровод флотационного насоса [10].

Недостаток первого способа насыщения в уменьшении на  $10 \dots 15\%$  производительности насоса на  $1\%$  объема подаваемого в насос воздуха.

Графики растворения воздуха при различных давлениях приведены на рис. 3. [5].

При понижении давления в системе водовоздушной смеси создаются условия для выхода диспергированного воздуха. Начинается процесс зарождения пузырьков воздуха в пересыщенном, при уменьшенном давлении, водовоздушном растворе, катализатором которого являются примеси в очищаемой воде. Процесс заканчивается, когда возникает подъемная сила, выносящая пузырек воздуха, с находящимися на поверхности примесями, на зеркальную поверхность флотатора. Скорость подъема пузырька имеет большое значение. При медленном подъеме пузырьков воздуха не нарушается ламинарный режим флотатора, примеси под действием сил сопротивления не отрываются от поверхности пузырька воздуха, устойчивый и непрерывный пенный слой на поверхности флотатора.

При быстром подъеме пузырьков воздуха, возникающих при их больших размерах, происходит явление барботажа, т.е. перемешивание слоев очищаемой воды. При этом эффективность очистки стоков снижается. По гидравлическому состоянию зеркала воды флотатора можно визуально оценить его работу.

Количество воздуха, подаваемого на флотацию в виде пузырьков соизмеримых с величиной примеси, является одним из условий, обеспечивающих успех флотации: недостаток или избыток его снижают эффект данного процесса. Следует отметить, что приведенные удельные расходы в несколько раз превышают количество воздуха, найденное из условий создания необходимой для всплывания твердовоздушной фазы (1...1,6 л/кг). Отсюда следует, что некоторый избыток воздуха необходим.

Экспериментально установлено, что оптимальными технологическими параметрами работы флотационной установки являются:

- подача воздуха для достижения концентрации 2...10 мл/л от объема стоков, перекачиваемых флотационным насосом [10];
- давление в напорном резервуаре перед флотатором – 0,35...0,6 МПа;
- время нахождения очищаемых стоков в технологических элементах:
  - во флотационной камере флотатора – не менее 15 мин;
  - в напорном резервуаре, трубопроводах от флотационного насоса до флотатора – не менее 3 мин.

Для сточных вод автомоек большой технологической проблемой является фильтрование, т.к. фильтры должны отвечать современным требованиям: максимальной эффективностью и производительностью – взаимнопротивоположные требования, легко регенерируемые, надежные, компактные, экономичные в эксплуатации и др. На эти качества существенно влияет применяемый

фильтрующий материал. Отметим некоторые из них: песок, керамзит, цеолит, активированный уголь, вспененный полистирол, пенополиуретан. Последние более часто применяются на автомойках. Технологические рекомендации для фильтров с плавающей загрузкой (ФПЗ) для очистки природных вод:

- общая толщина двухъярусной или двухслойной загрузки до 0,7...1,2 м;
- допустимое содержание взвеси в воде – до 500 мг/дм<sup>3</sup>;
- скорость фильтрования – 0,6...2 м/час;
- диаметр гранул плавающей загрузки – 0,3...1,5 мм;
- интенсивность промывки загрузки – 10...12 л/(с·м<sup>2</sup>);
- продолжительность промывки – 3...4 мин.

Данный ФПЗ был в эксплуатации на локальных очистных сооружений Ялтинской нефтебазы для очистки от нефтепродуктов. В эксплуатации он зарекомендовал с отрицательной стороны: снижение содержания нефтепродуктов было незначительное: 1...2 мг/л, дополнительные расходы по регенерации с использованием чистой воды и сжатого воздуха. Однако самым большим недостатком были потери гранул при промывке, которые с собранными нефтепродуктами попадали в котельное топливо и тем самым забивали форсунки. В связи с этими факторами от эксплуатации ФПЗ отказались...

Нами предлагается использовать в качестве фильтрующего материала нетканый полиэтилен, полипропилен. Он может отличаться по толщине, плотности, размерами пор от 0,3 до 80 мкм. На основе этого материала нами предлагаются фильтры [9] на производительность от 6; 25 л/мин до 4000 м<sup>3</sup>/час. Для автомоек наиболее подходит фильтр 25 л/мин. Опытный фильтр на производительность 10 м<sup>3</sup>/час был испытан на Запорожской АЭС, ВОС г. Старый Крым, ПАО «Массандра». Данные исследования подтвердили высокую эффективность от нефтепродуктов (до 0,05 мг/л), очистку от бактерий, возможность многократной регенерации. Его технологические характеристики: скорость фильтрации до 200 м/час, давление фильтрации до 10 бар, толщина фильтроэлемента 50 мм, время промывки 5 минут в неделю. Для промышленных фильтров разрушение осадка под слоем фильтрующего материала может использоваться инфразвуковой вибратор.

Вышеизложенные рекомендации нашли реализацию в разработанной технологической схеме оборотного технического водоснабжения автомойки (рис. 4). В состав основного оборудования входят: два насоса, два отстойника, приемная и буферная емкости, фильтр, гидроаккумулятор, ресивер, напорный флотатор, насос высокого давления Karcher K5.200. Все основное оборудование, кроме четырех последних, компактно располагаются под эстакадой,

что значительно экономят производственную площадь. Под эстакадой также размещается дополнительное оборудование: бензиновый электрогенератор, воздушный компрессор, электрический шкаф.

Для очистки оборотной воды от СПАВ, которые образуются при применении специальных моющих средств, предусмотрена очистка методом напорной флотации. Он осуществляется в обратном цикле по схеме: отстойник – насос – смеситель – ресивер – напорный флотатор – отстойник. Собранные СПАВ предусматривается использовать вторично. По мере работы автомойки возникнут потери воды на испарение. Для компенсации этих потерь предусматривается буферная емкость, которая связана с насосом. Система трубопроводов в технологической схеме

позволяет перекачивать воду между отстойниками, приемной и буферной емкостью (рис. 4).

Автомойка работает следующим образом. Предварительно заполняются водой все емкости: приемная и буферная емкость, отстойники, напорный флотатор, гидроаккумулятор. Последний заполняется через насос и фильтр. Технологическая схема обеспечивает две схемы очистки сточных вод, независимые друг от друга.

**Первая схема.** Сточная вода от мойки автомобиля подается в отстойники, затем поступает в приемную емкость, из которой насосом подается насосом через фильтр в гидроаккумулятор. На автомойку очищенная вода подается из гидроаккумулятора, которая также может использоваться для промывки фильтра обратным током.

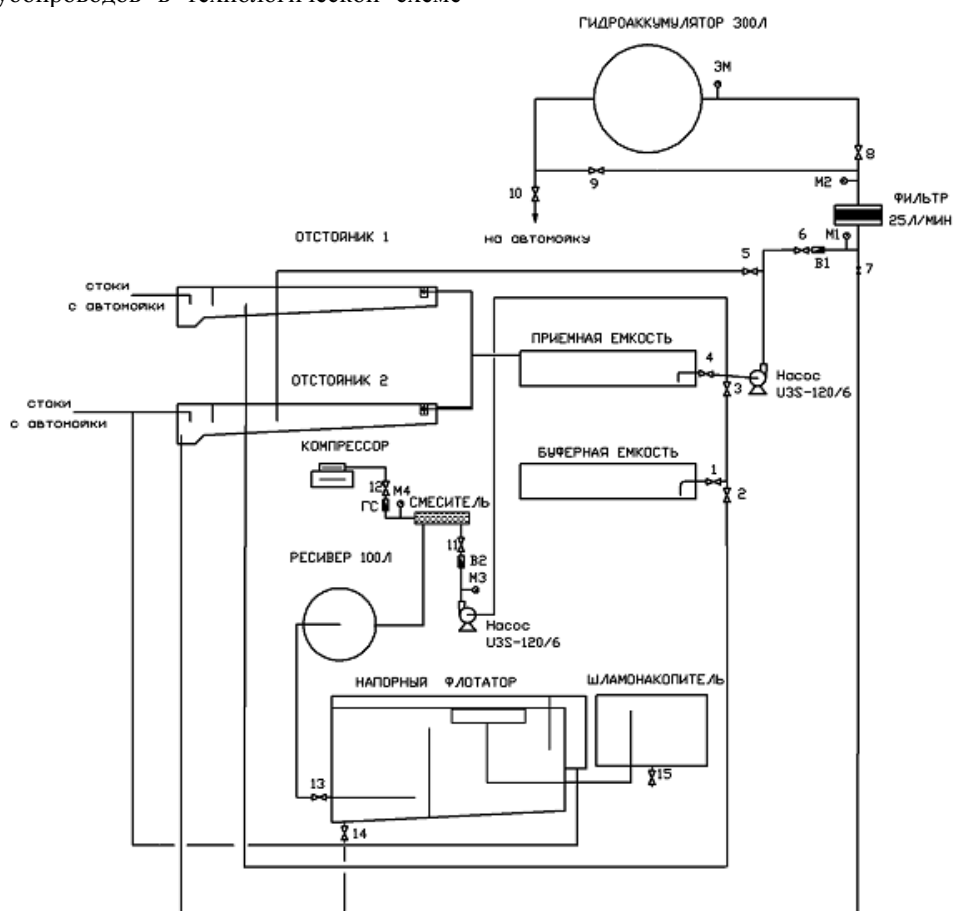


Рис. 4. Технологическая схема очистки сточных вод автомойки «ЯЛОС» [11].

Fig. 4. Flowsheet of cleaning of sewages of autowashing of «YALOS» [11].

**Вторая схема.** Дополнительная очистка через напорный флотатор осуществляется по замкнутому циклу за счет подачи сточной воды из приемной емкости флотационным насосом в смеситель, из которого через ресивер в напорный флотатор. После дополнительной очистки напорной флотацией вода сбрасывается в отстойник, откуда подается в приемную емкость, за счет чего, цикл очистки замыкается. Дросселирующим краном создается необходимое давление флотации и по нему обеспечивается необходимый расход. По расходу очищаемых стоков в смеситель компрессором добавляется воздух из расчета до 10% от их объема. Собранные в шламонакопителе ПАВ после дополнительной очист-ки отстоєм и процеживанием можно использовать вторично.

Предлагаемая технологическая схема очистки сточных вод автомойки «ЯЛОС» позволяет обеспечить оборотное водоснабжения автомоек, в том числе с применением специальных ПАВ. С учетом того, что сточные воды автомоек по составу идентичны первым порциям поверхностного дождевого стока, то предлагаемая схема оборотного технического водоснабжения автомойки может подпитываться поверхностными дождевыми стоками. Высокая эффективность и степень очистки, которая обеспечивается технологической схемой позволяет подпитывать ее технической водой из открытых источников.

## ВЫВОДЫ

Технологическая вода, применяемая для мойки машин в соответствии с требованиями экологической безопасности должна очищаться в схеме оборотного технического водоснабжения автомойки с обеспечением качества, допустимого для последующего мытья транспортных средств. Использование пить-своей воды может быть как вынужденное исключение.

Сточные воды автомоек по составу идентичны первым порциям поверхностного дождевого стока, то схемы оборотного технического водоснабжения автомойки могут подпитываться поверхностными водами, технической водой из открытых источников. Для очистки поверхностных вод и экономичной работы автомоек необходимо предусматривать накопительные резервуары чистой воды на объем, определяемый гидравлическим расчетом поверхностного дождевого стока с прилегающей территории.

Сточная вода от автомоек, должна очищаться не только от физических, химических примесей, но и для повышения экологической безопасности от биологических загрязнений. Проанализированы различные технологические схемы очистки сточных вод автомоек. Для эффективной очистки сточных вод автомоек предложена технологическая схема с применением различных процессов очистки: отстоя, напорной флотации и фильтрования. Для

заключительной стадии очистки сточных вод автомойки рекомендуется использовать фильтр ЯЛОС -25 с фильтрующим материалом полипропилен, т. к. он многократно регенерируемый, эффективно задерживает бактерии, взвешенные вещества.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мануйлов М., Тошинский В., Шутинский А., Деменкова С., Скомороха О., 2002. Перераспределение загрязняющих веществ, накапливающихся на урбанизированных территориях автотранспортными средствами // Вестник НТУ «ХПИ». - т.1, №9, 40 - 43.
2. Мануйлов М., Прокопенко В., Большакова Е., 2004. Методология оценки объёмов загрязняющих веществ, привносимых автотранспортными средствами на центральные зоны городских территорий// Науковий вісник будівництва. - вип.27, 76 - 83.
3. Боков В., Лущик А., 1998. Основы экологической безопасности: учебное пособие. - Симферополь: СОНАТ.-224.
4. МУ РФ 2.1.5.1183-03. Санитарно-эпидемиологический надзор за использованием воды в системах технического водоснабжения промышленных предприятий. – 124.
5. Роев Г., Юфин В., 1987. Очистка сточных вод и вторичное использование нефтепродуктов.- М.: Недра.- 224.
6. Жуков А., Мангайт И., Радзиллер И., 1977. Методы очистки производственных сточных вод. Справочное пособие. М.: Стройиздат. -208.
7. Демура М., 1981. Проектирование тонкослойных отстойников. К.: Будівельник. – 50.
8. Демков А., 2009. Патент UA 86489. - Пристрій для очищення води.
9. Демков А., 2009. Патент UA 87346. - Пристрій для очищення рідин.
10. Демков А., 2011. Патент UA 94462. - Пристрій для очищення води напірною флотацією.
11. Автомойка «ЯЛОС»// [Электронный ресурс]. Ресурс доступа: [www.info-water.com.ua](http://www.info-water.com.ua).
12. Валкина Е., Вернези С., Николенко И., Богуцкий П., 2010. Использование методов водоочистки в новейших энергосберегающих технологиях// MOTROL. – Vol. 12С, 114 – 119.
13. Ветрова Н., 2010. Устойчивость окружающей среды природной среды и оценка уровня экологической безопасности региона// MOTROL. – Vol. 12D, 179 – 184.
14. Krasowski E., Glinski J, 2012. Ekologiczne problemy miejskiego transportu samochodowego// MOTROL. – Vol. 14, №5, 183 – 188.
15. Myslowski J, 2010. Enviromental poblution by motor-cars equipped with compression – diesel engines// ТЕКА. Vol.10, 279-283.
16. Zielinska E., Lejda K., 2010. Ecological problem of transport vehicles // ТЕКА. – Vol.10, 548-556



PERSPECTIVE FLOWSHEETS OF  
CLEANSING BUILDINGS OF AUTOWASHINGS

**Summary.** In the article the problems of cleaning of sewages are considered on cleansing buildings of the motor-car washings. The constructions of the known flowsheets of cleaning of sewages of autowashings are analysed. The on principle new flowsheet of cleaning of sewages of autowashings is offered, which leans against financial viability with the maximal diminishing of capital costs and maximal carrying capacity.

**Key words:** autowashing, circulating systems, filters, pressure flotator, sewer water, contaminations, cleaning, horizontal tank for sedimentation, polypropylene



## ОРИЕНТИРОВОЧНЫЕ ПРОГНОЗЫ ХАРАКТЕРИСТИК СКОРОСТИ ВЕТРА В ЕВРОПЕ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЧИВОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕМПЕРАТУР СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРНОГО ПРИЧЕРНОМОРЬЯ

Холопцев Александр, Аксенова Александра

Севастопольский национальный технический университет  
г. Севастополь ул. Университетская 33  
aksenova-aleksandra@list.ru

**Аннотация.** На примере репрезентативных пунктов Северного Причерноморья показано, что учет при идентификации прогностических множественно-регрессионных моделей межгодовой изменчивости вариаций аномалий SST выявленных акваторий Северной Атлантики, позволяет осуществлять эффективную оценку среднемесячных значений скоростей ветра с упреждениями не менее 3 лет.

**Ключевые слова:** прогнозирование, скорость ветра, поверхностные температуры акваторий, Северная Атлантика, модель, корреляция, идентификация.

### ВВЕДЕНИЕ

Изменения характеристик скорости ветра являются значимыми факторами эффективности действующих ветровых электростанций и во многом определяют технический облик проектируемых [1, 12]. Поэтому совершенствование методик их долгосрочного прогнозирования является актуальной проблемой не только физической географии и метеорологии, но и ветроэнергетики.

В соответствии с разработанным Всемирной Метеорологической организацией Наставлением по глобальной системе обработки данных (ВМО - №485), одним из видов прогнозов метеорологических процессов являются ориентировочные месячные. При их разработке оценивают наиболее вероятные значения статистических характеристик подобных процессов, в будущем, отстоящем от настоящего на единицы месяцев - лет. Именно такие прогнозы представляют наибольший интерес с точки зрения проектирования ветровых электростанций. При этом к числу важнейших статистических характеристик скорости ветра являются ее среднемесячные значения.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Согласно современным представлениям о закономерностях пространственно-временной изменчивости скорости ветра в приземном слое атмосферы [11, 13], данный процесс, происходящий над той или иной территорией, является многофакторным. Существенное влияние на его особенности оказывают изменения соответствующих составляющих общей циркуляции атмосферы, вызванные совместным действием глобальных, крупномасштабных и местных факторов.

К числу важнейших крупномасштабных факторов изменчивости характеристик атмосферной циркуляции в различных регионах Европы относится теплообмен с атмосферой различных участков поверхности Северной Атлантики, формирующий поле атмосферного давления во всем Евро-Атлантическом регионе [10, 8]. Потоки

тепла, поступающие в атмосферу с поверхности данного региона Мирового океана, определяются распределением его поверхностных температур (далее SST), формирующегося с участием его поверхностных океанических течений, теплосодержание которых изменяется при изменениях глобального климата [7]. Важнейшими среди них являются течения, образующие Северный субтропический антициклонический, а также Северный субполярный циклонический круговороты [2, 14].

Мониторинг изменчивости SST большинства акваторий Северной Атлантики, через которые проходят упомянутые течения, осуществляется со второй половины XIX века, а его результаты представлены в виде временных рядов аномалий их среднемесячных значений, осредненных по квадратам размером  $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ , в [15]. Данные временные ряды получены в результате реанализа наблюдений, выполненных на многочисленных пересекавших их судах. Они представлены в Интернете в свободном доступе, что позволяет их использовать во многих задачах моделирования и прогнозирования.

Основным методом моделирования многофакторных природных процессов является метод множественной регрессии, предложенный К. Пирсоном в 1908 г. [3]. В задачах их прогнозирования данный метод применим лишь в случае, если процессы, учитываемых в качестве аргументов соответствующих уравнений регрессии, в будущем, для которого разрабатываются прогнозы, окажутся их значимыми факторами. В противном случае модели, достаточно точно описывающие доступную предысторию таких процессов, при использовании для оценки их состояний в моменты времени, которые в нее не входят, могут давать сколь угодно большие ошибки.

Поскольку методики выявления подобных процессов в общем случае до сих пор не разработаны, при построении соответствующих прогнозов учитывают факторы, которые являлись

значимыми на всей доступной предыстории. Это дает адекватные результаты лишь при условии, что изучаемый процесс является стационарным. Так как в действительности многие прогнозируемые процессы таковыми заведомо не являются, прогнозам, разработанным подобным способом практики не доверяют [4].

В полной мере это относится и к такому процессу, как изменчивость среднемесячных значений скорости ветра в том или ином регионе Европы, характеристики которой варьируют вследствие того, что в результате потепления глобального климата изменяются особенности распределения SST в Северной Атлантике. Решение рассматриваемой проблемы усложняет и то, что общее число квадратов, в которых изменения аномалий SST на учитываемом отрезке предыстории значимо коррелированы с изучаемым процессом, может превосходить длину имеющихся непрерывных временных рядов результатов реанализа. К тому же изменения SST в каждом квадрате могут оказывать влияние на рассматриваемый процесс при различных значениях упреждения. Выбор среди подобных факторов наиболее значимых, основываясь на одних лишь значениях коэффициентов корреляции имеющихся их временных рядов, с изучаемым процессом, далеко не всегда обеспечивает приемлемую адекватность учитывающих их прогнозов.

Одним из регионов Европы, в котором развитие ветроэнергетики является наиболее актуальным, а совершенствование методик долгосрочного прогнозирования характеристик ветра представляет осязаемый практический интерес, относится Северное Причерноморье. Данный регион расположен на территории Причерноморской низменности и включает южные области Украины и Автономную Республику Крым. Вследствие своего географического положения существенными гидроэнергетическими ресурсами, а также запасами традиционных энергоносителей данный регион не обладает, что вызывает повышенный интерес к развитию в нем нетрадиционных видов электроэнергетики, и прежде всего, использующих энергию ветра.

Учитывая изложенное, объект исследования - изменения среднемесячных значений скорости ветра в приземном слое атмосферы в регионах Европы, а также распределения SST Северной Атлантики.

Предметом исследования являлись особенности ориентировочных прогнозов среднемесячных значений скорости ветра в приземном слое атмосферы регионов Европы, разработанных с учетом изменчивости

распределения SST Северной Атлантики, на примере Северного Причерноморья.

Целью работы является разработка методики построения ориентировочных прогнозов среднемесячных значений скорости ветра в приземном слое атмосферы регионов Европы, учитывающих изменчивость распределения SST Северной Атлантики, а также оценка точности подобных прогнозов, на примере различных пунктов Северного Причерноморья.

#### ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для достижения указанной цели решены следующие задачи:

1. Выбор на территории Северного Причерноморья пунктов, которые при изучении распределения среднемесячных значений скорости ветра в приземном слое атмосферы данного региона могут рассматриваться как репрезентативные.

2. Выявление среди различных акваторий Северной Атлантики тех, межгодовые изменения SST которых в ближайшие годы с наибольшей вероятностью сохранят свою значимость, как факторов изменчивости среднемесячных скоростей ветра в репрезентативных пунктах Северного Причерноморья.

3. Разработка ориентировочных прогнозов изменчивости среднемесячных скоростей ветра в репрезентативных пунктах Северного Причерноморья, а также оценка их точности.

Поскольку приземный слой атмосферы является одним из компонентов ландшафта, в ходе данного исследования при выборе репрезентативных пунктов на территории Северного Причерноморья учитывалась схема ландшафтного районирования Украины [9]. В соответствии с ней ландшафтный комплекс данного региона образуют ландшафтные области Южно-степной подзоны Степной ландшафтной зоны Украины. Учитывая это на территории каждой из этих подзон выбрано по одному репрезентативному пункту, расположение которых приведено в таблице 1.

При выявлении факторов, способных в ближайшие годы с наибольшей вероятностью сохранить свою значимость, предполагалось, что к значимым относятся те, статистическая связь которых с изучаемым процессом является значимой с достоверностью не ниже 0.99.

Как количественная характеристика связи рассматривался коэффициент парной корреляции фрагментов временных рядов сопоставляемых процессов, включающих по 22 члена. Это позволило при оценке достоверности статистического вывода о ее значимости применить критерий Стьюдента [5].

Таблица 1. Расположение репрезентативных пунктов на территории Северного Причерноморья  
Table 1. Location of representative points in the Northern Black Sea Coast

| № | Ландшафтная область                         | Город        | Широта °N | Долгота °E |
|---|---|--------------|-----------|------------|
| 1 | Днестровско - Бугская низменная область     | Одесса       | 46.5      | 30.7       |
| 2 | Нижнебугско - Днепровская низменная область | Херсон       | 46.6      | 32.6       |
| 3 | Тарханкутская возвышенная область           | Черноморское | 45.5      | 32.7       |
| 4 | Центральнокрымская возвышенная область      | Симферополь  | 44.9      | 34.1       |
| 5 | Керченская холмисто-грядовая область        | Керчь        | 45.3      | 36.5       |
| 6 | Присивашско-Приазовская низменная область   | Мариуполь    | 47.1      | 37.6       |

Решение о значимости связи применялось путем сравнения вычисленного значения коэффициента парной корреляции некоторых фрагментов изучаемых временных рядов, с 99% порогом достоверной корреляции, рассчитанным с учетом числа степеней их свободы.

При оценке вероятности сохранения значимости некоторой связи рассматривалась зависимость коэффициента корреляции пары фрагментов сопоставляемых процессов, сдвинутых между собой по времени на постоянную величину, от года начала фрагмента ряда среднемесячных скоростей ветра.

Предполагалось, что отклонения значений указанной характеристики от ее линейного тренда представляют собой стационарный нормальный случайный процесс. Учитывая это, значения его математического ожидания и дисперсии, рассчитанные по доступной предыстории, а также тренда в ближайшем будущем сохраняются неизменными. Последнее позволяет, располагая значением коэффициента корреляции, соответствующим последнему фрагменту ряда среднемесячных скоростей ветра, определить вероятность того, что для фрагмента, заканчивающегося будущим (при упреждении на один, два и более лет) его значение будет превышать 99% порог достоверной корреляции.

В качестве факторов изменений среднемесячной скорости ветра в каждом репрезентативном пункте выбирались временные ряды изменений аномалий SST квадратов Северной Атлантики, размерами  $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ , оцененная подобным образом вероятность значимости которых при упреждении 1 год являлась максимальной.

Коэффициенты уравнения линейной множественной регрессии рассчитывались для фрагмента ряда среднемесячных скоростей ветра, соответствующего периоду 1988-2009 гг., с использованием метода наименьших квадратов [6]. При этом значения изучаемых характеристик для тех или иных месяцев 2010, 2011 и 2012 гг. использовались при оценке точности прогнозов, построенных с использованием в качестве прогностической функции полученного уравнения.

В качестве фактического материала использовались временные ряды среднемесячных значений аномалий SST всех квадратов Северной Атлантики, за период 1970 - 2012 гг. полученные из

[15], а также соответствующие по времени временные ряды среднемесячных скоростей ветра в приземном слое атмосферы в репрезентативных пунктах, представленные в [16].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В соответствии с изложенной методикой, для каждого месяца и каждого репрезентативного пункта, основываясь на предыстории изучаемых процессов, заканчивающейся 2009 г., определены квадраты Северной Атлантики, в которых изменения аномалий SST с наибольшей вероятностью будут являться значимыми факторами изменений среднемесячных скоростей ветра в период 1989-2010 гг..

В качестве примера, в таблице 2 представлены координаты центров подобных квадратов, для которых вероятность утраты на отрезке времени 1989-2010 гг. значимости изменений аномалий их SST, как факторов изменчивости среднемесячных скоростей ветра в январе в г. Симферополь не превышает  $10^{-7}$ .

Из таблицы 2 видно, что практически все квадраты акватории Северной Атлантики, для которых вероятность утраты значимости вариаций аномалий их SST, как факторов изменений среднемесячных скоростей ветра в январе, в г. Симферополь, в период 1989-2010 гг. не превышает  $10^{-7}$  расположены в западном полушарии. Они расположены в акваториях, через которые проходит Северо-Атлантическое течение и его ветви, что соответствует представлениям [3] о влиянии теплообмена их поверхностей с атмосферой как фактора циркуляции атмосферы над Европой.

С использованием в качестве аргументов линейного уравнения регрессии временных рядов аномалий SST указанных квадратов Северной Атлантики идентифицирована прогностическая множественно регрессионная модель рассматриваемого процесса, коэффициенты которой приведены в таблице 3.

На рис. 1 приведены предыстория изменений среднемесячной скорости ветра в г. Симферополь, результаты ее моделирования и прогнозирования с использованием идентифицированной модели, а также фактические значения данной характеристики в 2010-2012 гг.

Таблица 2. Координаты центров квадратов акватории Северной Атлантики, для которых вероятность утраты значимости вариаций аномалий их SST, как факторов изменений среднемесячных скоростей ветра в январе, в г. Симферополь, в период 1989-2010 гг. не превышает  $10^{-7}$

Table 2. Squares coordinates centers of the North Atlantic for which the likelihood of loss significant variations anomalies of SST, as the drivers of change monthly average wind speed in January, in Simferopol, in the period 1989-2010. does not exceed  $10^{-7}$

| № | Широта °N | Долгота ° | № | Широта °N | Долгота ° | №  | Широта °N | Долгота ° |
|---|-----------|-----------|---|-----------|-----------|----|-----------|-----------|
| 1 | 62,5      | -52,5     | 5 | 62,5      | -47,5     | 9  | 62,5      | -7,5      |
| 2 | 62,5      | -52,5     | 6 | 62,5      | -42,5     | 10 | 62,5      | 2,5       |
| 3 | 62,5      | -52,5     | 7 | 62,5      | -42,5     |    |           |           |
| 4 | 62,5      | -47,5     | 8 | 62,5      | -32,5     |    |           |           |

Таблица 3. Коэффициенты линейной множественно регрессионной прогностической модели межгодовых изменений среднемесячных скоростей ветра в январе в г. Симферополь

Table 3. The coefficients of linear multiple regression prediction model interstate annum changes monthly wind speed in January in Simferopol

| № квадр. | Коэффициент модели. | Значение | № квадр. | Коэффициент модели. | Значение | № квадр. | Коэффициент модели. | Значение |
|----------|---------------------|----------|----------|---------------------|----------|----------|---------------------|----------|
|          | $C_0$               | 16.585   | 4        | $C_4$               | 0.091    | 8        | $C_8$               | -1.442   |
| 1        | $C_1$               | -0.032   | 5        | $C_5$               | 1.182    | 9        | $C_9$               | 1.282    |
| 2        | $C_3$               | 1.354    | 6        | $C_6$               | -0.393   | 10       | $C_{10}$            | 0.344    |
| 3        | $C_4$               | 1.721    | 7        | $C_7$               | -0.103   |          |                     |          |

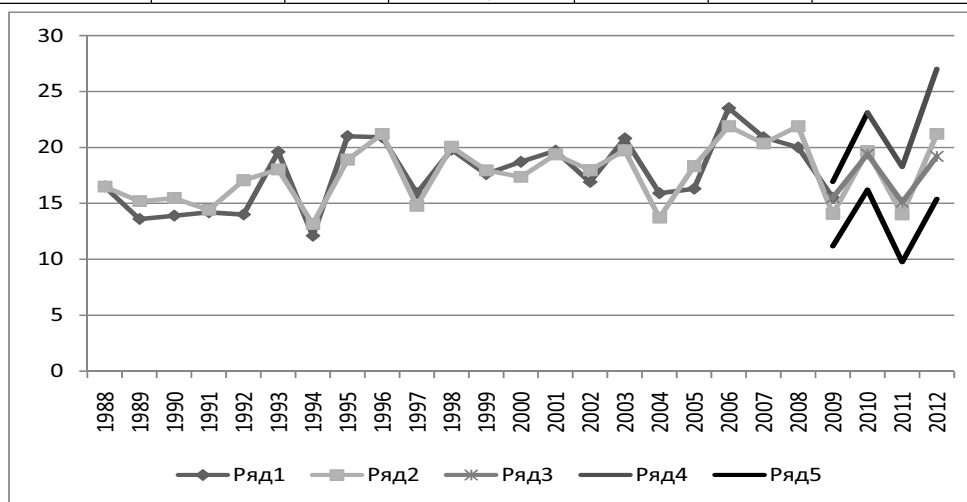


Рис. 1. Предыстория изменений среднемесячной скорости ветра в январе в г. Симферополь (ряд 1), результаты ее моделирования и прогнозирования (ряд 2), ее фактические значения в 2010-2012 гг. (ряд 3), а также границы интервала в пределы которого с вероятностью 0.98 попадут фактические значения.

Fig. 1. Background to changes of mean monthly wind speed in January in Simferopol (range 1), the results of modeling and forecasting (range 2), its actual value in 2010-2012. (range 3), as well as the boundaries of the interval within which the probability 0.98 will get the actual values.

Таблица 4. Фактические и прогнозируемые значения среднемесячных скоростей ветра (км/ч) в январе в репрезентативных пунктах Северного Причерноморья

Table 4. Actual and predicted values of mean monthly wind speed (km /h) in January in representative areas of the Northern Black Sea Coast

| Пункт        | Факт 2010 | Прогн 2010 | Факт 2011 | Прогн 2011 | Факт 2012 | Прогн 2012 | Пункт       | Факт 2010 | Прогн 2010 | Факт 2011 | Прогн 2011 | Факт 2012 | Прогн 2012 |
|--------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|
| Одесса       | 17.8      | 17.6       | 15.8      | 11.5       | 18.1      | 16.6       | Симферополь | 19.4      | 19.6       | 15.1      | 14.0       | 19.2      | 21.2       |
| Херсон       | 10.8      | 10.9       | 13.6      | 13.0       | 12.5      | 19.8       | Керчь       | 17.9      | 17.9       | 15.0      | 13.3       | 18.9      | 20.2       |
| Черноморское | 19.3      | 24.8       | 9.0       | 12.9       | 19.7      | 20.4       | Мариуполь   | 22.8      | 19.6       | 14.4      | 14.0       | 19.9      | 21.2       |

Из рис. 1 видно, что на отрезке времени 1988-2009 гг. результаты моделирования удовлетворительно соответствуют предыстории изменений среднемесячной скорости ветра в г. Симферополь. Отличия результатов прогнозирования рассматриваемого процесса на 2010-2012 гг. от его фактических значений также сравнительно не велики и позволяют составить представление о характере изменений в будущем его состояний.

Аналогичные результаты для прочих репрезентативных пунктов представлены в таблице 4.

Из таблицы 4 следует, что разработанные с использованием предложенной методики ориентировочные прогнозы обладают приемлемой точностью и позволяют судить о тенденциях изменения в будущем всех изучаемых процессов. Аналогичными особенностями обладают построенные таким же способом прогнозы межгодовых изменений среднемесячных скоростей ветра и в прочие месяцы.

## ВЫВОДЫ

1. Учет при идентификации прогностических множественно-регрессионных моделей межгодовой изменчивости вариаций аномалий SST выявленных акваторий Северной Атлантики, позволяет осуществлять эффективную оценку среднемесячных значений скоростей ветра во всех пунктах Северного Причерноморья с упреждениями не менее 3 лет.

2. Предложенная методика выявления факторов, способных с максимальной вероятностью сохранить свою значимость в ближайшем будущем может быть использована при решении аналогичных задач и для других регионов Мира, при условии, что поиск этих факторов осуществляется с учетом всех акваторий Мирового океана.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ветрова Н., 2012: Экологический аудит и экологический мониторинг в управлении экологической безопасности региона// MOTROL. - № 14-1, 82-87 (на русском языке).

2. Дмитревский Ю.Д., Литовка О.П., 1984. География Мирового океана. Атлантический океан. – М.:Наука. – 589 (на русском языке).

3. Дрейпер Н., 2007. Прикладной регрессионный анализ. Множественная регрессия. – М.: Диалектика. – 912 (на русском языке).

4. Дымников В.П., 2007. Устойчивость и предсказуемость крупномасштабных атмосферных процессов. – М.: ИВМ РАН. – 283 (на русском языке).

5. Закс Ш., 1985. Теория статистических выводов. – М.: Мир. – 776 (на русском языке).

6. Кендал М.Дж., 1976. Многомерный статистический анализ и временные ряды. – М.: Наука. – 736 (на русском языке).

7. Кондратьев К.Я., 1992. Глобальный климат. – СПб.: Наука. – 358 (на русском языке).

8 Matrosova L., Penland C., 1998. Prediction of tropical Atlantic sea surface temperatures using Linear Inverse Modeling. J. Climate. – March. 483-496 (на английском языке).

9. Національний атлас України. – К.: ДНВП „Картографія”, 2007. – 440 (на украинском языке).

10. Полонский А.Б., 2001. Роль океана в современных изменениях климата. Морской гидрофизический журнал. – № 6. 32-48 (на русском языке).

11. Рензо Д.де, 1982. Ветроэнергетика. – М.: Энергоатомизда. – 272 (на русском языке).

12. Saliev E., 2009.: Ecological and economic problems of power saving up technologies introduction in Ukraine// MOTROL. - № 13С, 194-200 496 (на английском языке).

13. Школьный С.П., 1997. Фізика атмосфери. – Одеса. – 698 (на украинском языке).

14. Холощев А., 2012: Изменения температуры поверхностных течений Южного полушария Земли, входящих в состав глобального теплового океанического конвейера при современном потеплении климата// MOTROL. - № 14-1, 106-115 (на русском языке).

## PROJECTIONS OF WIND SPEED CHARACTERISTICS IN EUROPE WITH THE ACCOUNTING APPORTIONMENT SUPERFICIAL TEMPERATURES IN NORTH ATLANTIC AN EXAMPLE OF BLACK SEA

**Summary.** On the example of the Northern Black Sea Coast representative items shown that allowance for the identification of predictive multiple-regression models of the interannual variability of SST anomalies identified variations in the North Atlantic waters, enables efficient evaluation of monthly mean values of wind speed with a lead time of at least 3 years.

**Keywords:** forecasting, wind speed, temperature, surface waters, North Atlantic, the model, correlation, identification.





## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ СОЛНЕЧНЫХ И ВЕТРОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Эскендер Бекиров, Надежда Фурсенко

Национальная академия природоохранного и курортного строительства  
95493, АРК, г. Симферополь, ул. Киевская, 181  
e-mail.: napks\_eif@mail.ru

**Аннотация.** Исследованы характеристики экологической безопасности при строительстве и эксплуатации солнечных и ветровых электростанций. Рассмотрены вопросы производства элементов солнечных батарей и землеотведения для возобновляемых источников энергии.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, возобновляемая энергетика, солнечные и ветровые электростанции, энергосбережение.

### ВВЕДЕНИЕ

Возобновляемые нетрадиционные источники энергии в настоящее время находят широкое применение во всех странах, в связи с исчерпаемостью традиционных источников, работающих на угле, нефти, газе, радиоактивных элементах. По сравнению с другими видами энергетике возобновляемая энергетика является одной из наиболее безопасных в экологическом отношении [13]. Несмотря на то, что альтернативные, возобновляемые источники использовались и в прошлом, вопросу экологической безопасности их применения уделялось мало внимания, т.к. считалось, что они являются экологически чистыми.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Солнечные электростанции (СЭС) и ветровые электростанции (ВЭС) являются недостаточно изученными объектами с точки зрения влияния на экологию. Это направление является актуальным во всем мире. Основной целью данной статьи является изучение влияния СЭС и ВЭС на окружающую среду и здоровье людей.

Для достижения поставленных целей необходимо решить следующие задачи: рассмотреть и сравнить экологические параметры различных методов производства электроэнергии; оценить землеемкость различных типов энергоустановок; дать сравнительную характеристику отрицательного влияния традиционных и нетрадиционных энергоустановок на окружающую среду.

Воздействие на экологию разных типов электростанций зависит от того на каком этапе своего существования они находятся: производство, эксплуатация или утилизация. Например, солнечные электростанции наносят наименьший вред окружающей среде во время эксплуатации. Поэтому необходимым является рассмотреть их влияние на каждом из этих этапов в отдельности [9].

Анализировать экологическую эффективность СЭС и ВЭС будем в сравнении с такими традиционными источниками энергии, как атомные электростанции (АЭС), теплоэлектростанции (ТЭС) различных видов, гидроэлектростанции (ГЭС).

Очевидно, что увеличение экономической эффективности возобновляемой энергетике приводит к увеличению её конкурентно-способности по сравнению с традиционной. С учетом их существенно более высокой экологической безопасности, применение нетрадиционных источников энергии приводит к уменьшению негативного влияния на окружающую среду. Таким образом, рассмотрение их экономической эффективности также является целесообразным.

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Наибольшая социально-экологическая опасность солнечных фотоэлектрических установок на фотоэлементах связана с производством, в ходе которого происходит переработка значительного количества вредных для здоровья человека и окружающей среды веществ, так как одними их основных компонентов фотоэлементов являются кремний, галлий, арсенид, кадмий, теллур, фосфор, бор, селен, окись кремния. Например, окись кремния, пары кадмия могут привести к легочным и бронхиальным заболеваниям, отрицательно сказываются на органах дыхания. Воздействие небольших доз кадмия приводит к накоплению в почках, размягчению и деформации костного состава скелета. Поэтому, производство фотоэлектрических установок на основе полупроводниковых материалов должно быть экологически безопасным, автоматизированным, удаленным от населенных пунктов [2, 14]. Кроме того, выработавшие свой ресурс фотоэлементы также содержат описанные выше вредные вещества, поэтому их транспортировка, хранение и ликвидация должны осуществляться в соответствии

с государственными стандартами, в частности должны соблюдаться целостность упаковки, температурный режим и отсутствие в воздухе паров кислот и щелочей [12].

При производстве и эксплуатации ветряных электростанций также может оказываться негативное влияние на окружающую среду. В частности, изготовление ветрогенераторов требует использования специальных эмалей для покрытия их корпусов и лопастей. При изготовлении эмалированных изделий используется фритта, которую получают путем измельчения и плавки. В основе фритты лежит фтор. Во время плавки фтор, испаряясь, образует фтористый водород (плавиковая кислота), которая является одной из наиболее опасных кислот и воздушными потоками может разноситься, оказывая вредное влияние в любом районе на растительность, выжигая ее. Поэтому должны применяться специальные меры защиты самих производств [1].

Кроме солнечных панелей и ветрогенераторов на электростанциях применяются различные устройства преобразования, накопления, передачи электроэнергии, такие как трансформаторы, соединительные провода и др. При изготовлении такого типа оборудования используются лаки, компаунды, смолы, летучий состав и пары которых также отрицательно влияют на здоровье человека. Экологические проблемы возникают с необходимостью аккумуляции энергии. Использование электрических аккумуляторов и их последующая утилизация, связанная с извлечением токсичного свинца и электролитов.

При производстве солнечных элементов (СЭ) применяются несколько этапов получения чистого поликристаллического кремния, способы превращения ископаемого кремния в монокристаллические и поликристаллические листы в непрерывном технологическом процессе очистки. Перспективным считается и применение химического взаимодействия кремния с четырехфтористым кремнием. При этом реализуется извлечение кремния из расплава, его очистка и химическое осаждение из паров в течение одной стадии технологического процесса.

Стандартный технологический процесс, позволяющий получать монокристаллический солнечный элемент псевдоквадратной формы основан на выращивании кристаллов методом Чохральского с последующей резкой пластин с помощью алмазных лент и их шлифовкой абразивным порошком, что является вредным для здоровья человека. Таким образом, в солнечной фотоэнергетике наиболее вредным для человека и окружающей среды является технологический процесс получения СЭ, их хранение и утилизация.

По некоторым оценкам [3], для производства 1 Мвт-год солнечного электричества потребуются затрат времени и людских ресурсов в

40 раз больше, чем в традиционной энергетике на органическом топливе (уголь, мазут, природный газ).

При крупномасштабном производстве фотоэлементов повышается уровень загрязнений на предприятиях микроэлектронной промышленности, производящих фотоэлементы. Фотоэлементы содержат ядовитые вещества – свинец, Кадмий, галлий, мышьяк, индий, используемые с целью повышения эффективности преобразования, а их производство потребляет массу других опасных веществ. Срок службы фотоэлементов 30 – 50 лет и затем стоит вопрос их утилизации, который не имеет пока приемлемого с экологической точки зрения решения. Поэтому в настоящее время исследуются возможности замены соединениями кадмия и другим токсичным веществам при производстве современных фотоэлементов.

Другим аспектом отрицательного фактора солнечной энергетике на социально-экологические условия является большая землеёмкость СЭС из-за рассеянного характера поступления солнечной радиации на Землю. Удельная землеёмкость СЭС лежит в пределах от 0,001 до 0,006 га/кВт. В Крыму построено несколько СЭС прямого действия и величина удельной землеёмкости составляет 0,00213 га/кВт [9].

Объем выработанной электроэнергии на Крымской СЭС-5 (1990г., Щёлкино) за период эксплуатационного освоения составил 490 тыс. кВт·ч, что обеспечило замещение в энергосистеме 193,5 т органического топлива (бурый уголь). Реально предотвращен выброс в окружающую среду:

- дымовых газов – 2 200 000 м<sup>3</sup>;
- золы уноса – 34,8 т;
- двуокиси серы – 3,9 т;
- окиси азота – 0,9 т;
- пятиокиси ванадия – 0,4 кг;
- бензопирена – 0,3 т.

Несмотря на небольшие цифры первых результатов эксплуатационного освоения СЭС-5, работавшей в объединенной энергосистеме как источник электрической энергии мегаваттного класса, доказана реальная возможность устранения опасных загрязнений окружающей среды при производстве электрической энергии [6].

Уровень радиоактивных загрязнений в различных точках технологической схемы СЭС-5:

- поверхность земли в районе башни – 20 мкР/час;
- поверхность панелей солнечного парогенератора (СПГ) во время работы – 10 мкР/час;
- поверхность конструкций СПГ внутренняя – 10 мкР/час.

Таким образом, уровень радиоактивности как во время работы СПГ, так и в нерабочем состоянии соответствует естественному фону (для зоны строительства 10 – 20 мкР/час) и не наносит

никаких экологических нарушений в окружающую среду [7, 11]. По проведенному эксперименту безопасная для человека энергетическая мощность одного гелиостата в перерасчете на солнечное излучение составляет 15 – 20 кВт.

СЭС занимает значительную территорию. Наиболее перспективным видам земледелия на СЭС представляется выращивание лаванды – эфиромасличной культуры. С точки зрения энергетических технологий, посадка под гелиостатами многолетних насаждений эфиромасличных культур обеспечит закрепление почвы и снижения пылеобразования, что уменьшит загрязнение поверхности оптической системы СЭС и увеличит энерговыработку.

В настоящее время в Крыму введено несколько СЭС прямого действия. Мощность нагрузки СЭС, введенных в эксплуатацию, составляет 220 МВт, площадь застройки – 434 га, годовая выработка электроэнергии СЭС 330 000 Мвт·ч, сокращен выброс CO<sub>2</sub> – 226 т.

Под мощные ВЭС необходима площадь из расчета от 5 до 15 МВт/км<sup>2</sup> в зависимости от розы ветров и местного рельефа района. Для ВЭС мощностью 1000 МВт потребуется площадь от 70 до 200 км<sup>2</sup>. Выделение таких площадей в курортных регионах сопряжено с большими трудностями.

Мощность ВЭС в Крыму – 67,7 МВт, количество сэкономленного топлива – 183 517 т.у.т., масса сокращенных выбросов диоксида углерода – 89 671 т, площадь застройки 677 га.

Расположение ВЭС в пустынных областях приводит к возникновению эрозии почв, а станции, расположенные в прибрежных районах, служат помехой для судоходства. Работа ветротурбин создает проблемы звуковых и ультразвуковых воздействий на объекты окружающей среды. При близком расположении к жилищам людей возникают болезни сердца, звон в ушах, головокружение, мигрень. Генерируемый ветротурбинами инфразвук вызывает вибрацию костей.

ВЭС могут исказить:

- естественное движение воздушных потоков;
- электромагнитное воздействие, влияющее на работу телевидения, радиаторных установок;

Башня должна быть массивной и прочной, чтобы выдержать массу громадного генератора и вибрации, возникающие при его работе. Происходит разрушение турбин, возгорание, при проектном сроке работы турбин 20-30 лет, разрушение иногда происходит через 5 лет [15].

Показательным является таблица сравнения экологических параметров различных методов производства электроэнергии (табл. 1)

Для сравнения с другими типами энергетических установок в таблице 2 приведены экспертные оценки их землеемкости. Из таблицы 2 видно, что получение 1 МВт на башенной солнечной электростанции (БСЭС) требует 1,1 га земли, на солнечных фотоэлектрических установках (СФЭУ) от 1,6 до 2 га, солнечных прудах – до 8 га, для ВЭС – до 10 га, что весьма ощутимо для обжитых регионов.

Солнечная энергетика относится к наиболее материалоемким видам производства энергии. Согласно расчетам [3] для изготовления простейших коллекторов солнечного излучения площадью 1 км<sup>2</sup> требуется примерно 10 тыс. т алюминия. Создание глобальной системы гелиоэнергетики поглотило бы до 20 % известных мировых ресурсов железа. СЭС заметно материалоемки: металл, бетон, стекло и другие компоненты. Для альтернативных источников низкий коэффициент готовности – коэффициент использования установленной мощности, который составляет для солнечной и ветровой энергии 20-40 %, в основном из-за зависимости от погодных условий, для гидроэнергетики – 50 %, ядерной энергетики – 80-90 %. Поэтому для возобновляемых источников энергии необходимо использовать электрические аккумуляторы, либо водородную энергетику.

Таблица 1. Экологические параметры работы электростанций  
Table 1. Environmental parameters of power plants

| Вид электростанции | Объем выбросов в атмосферу, м <sup>3</sup> /Мвт·ч | Расход свежей воды, м <sup>3</sup> /Мвт·ч | Сброс сточных вод, м <sup>3</sup> /Мвт·ч | Объем твердых отходов, кг/Мвт·ч | Изъятие земель, га/Мвт·ч | Затраты на охрану природы, % общих затрат |    |
|--------------------|---|---|--|---------------------------------|--------------------------|---|----|
| Солнечная          | -   | -   | 0,02                                     | -                               | 2-3                      | -   |    |
| Ветровая           | -   | -   | 0,01                                     | -                               | 1-10                     | 1   |    |
| Геотермальная      | 1   | -   | -  | -                               | 0,2                      | 1   |    |
| Энергия биомассы   | 2-10  | 20  | 0,2                                      | 0,2                             | 0,2-0,3                  | -   |    |
| ТЭС                | уголь   | 20-35                                     | 40-60                                    | 0,5                             | 200-500                  | 1,5                                       | 30 |
|                    | газ   | 2-15                                      | 2-5                                      | 0,2                             | 0,2                      | 0,5-0,8                                   | 10 |
| ГЭС                | -   | -   | -  | -                               | 100                      | 2   |    |
| АЭС                | -   | 70-90                                     | 0,5                                      | 0,2                             | 2,0                      | 50  |    |

Таблица 2. Землеемкость разных типов энергетических установок  
Table 2. Specific land area used by different types of power plants

| Тип    | БИО энергетика | ГЭС | ВЭС | Солнечный пруд | ГеоТЭС | АЭС      | СФЭУ    | ТЭС без топливной базы | БСЭС |
|--------|----------------|-----|-----|----------------|--------|----------|---------|------------------------|------|
| га/МВт | 20             | 10  | 10  | 8              | 1,9    | 0,65-2,0 | 1,6-2,0 | 1,17                   | 1,1  |

В приведенных значениях землеемкости не учитываются изъятие земли на стадиях добычи и обработки сырья. В случае создания СЭС с солнечными прудами удельная землеемкость повысится и увеличится опасность загрязнения подземных вод рассолами (Табл. 3)

Применение солнечных концентраторов вызывает затенение земель, что приводит к изменениям почвенных условий, растительности. Нежелательное экологическое действие в районе расположения станции вызывает нагрев воздуха при прохождении через него солнечного излучения, сконцентрированного зеркальными отражателями.

Это приводит к изменению теплового баланса влажности, возможны перегрев и возгорание систем, использующих концентраторы. Применение низкокипящих жидкостей в солнечных коллекторах и их утечки в солнечных энергетических системах во время длительной эксплуатации могут привести к загрязнению питьевой воды. Особую опасность представляют жидкости, содержащие хроматы и нитриты, являющиеся высокотоксичными веществами.

Для учета отрицательного влияния различных типов энергоустановок на окружающую среду в настоящее время предложено несколько различных методик, предусматривающих штрафной экологический балл [5]. Эти баллы рассчитаны с учетом факторов воздействия на окружающую среду. Чем больше количество баллов получил каждый способ производства электричества, тем более вредное его воздействие (табл. 4) [4, 10]. Расчет проводился с учетом всех технологических операций.

Экономические законы и опыт развития мировой экономики показывают, что рациональная структура использования природных ресурсов в долгосрочной перспективе стремится к структуре имеющихся их запасов на Земле. Учитывая, что 1 кг кремния в солнечных элементах вырабатывает за 30 лет 15 МВт·ч электроэнергии при существующей в настоящее время технологии его изготовления и при к.п.д. равным 14 % можно посчитать нефтяной эквивалент кремния. При подсчете электроэнергии 15 МВт·ч с учетом теплоты сгорания нефти 43,7 МДж/кг дает 1,25 т нефти на 1 кг кремния. Если к.п.д. ТЭС, работающей на мазуте равно 33 %, то 1 кг кремния по вырабатываемой электроэнергии эквивалентен примерно 3,75 т нефти [8].

Важными показателями экономической эффективности любых типов энергоустановок являются значения  $K_N^{y\partial}$  (г/кВт) и  $K_9^{y\partial}$  (г/кВт·ч), то есть удельные капиталовложения в 1 кВт установленной мощности и цена электроэнергии, производимой на энергоустановке. Из-за совершенствования технологий и роста масштабов производства, возобновляемых нетрадиционных источников энергии в мире, значения  $K_9^{y\partial}$  и  $K_N^{y\partial}$  снизились в десятки раз, а указанные показатели на традиционных типах электростанций значительно выросли и имеют тенденцию к росту в силу объективных факторов и возобновляемая энергетика становится более конкурентоспособной в топливно-энергетическом комплексе.

Таблица 3. Площади отчуждаемых земель для выработки 1 Мвт·год электроэнергии  
Table 3. Area of alienated land to generate 1 MW of electricity per year

| Тип электростанции | АЭС | ТЭС   |       |     | ГЭС  | Солнечный | Ветряной |
|--------------------|-----|-------|-------|-----|------|-----------|----------|
|                    |     | мазут | уголь | газ |      |           |          |
| Площадь, га        | 6,3 | 9     | 15    | 24  | 2650 | 1000      | 1700     |

Таблица 4. Штрафной экологический балл для различных видов используемого источника электроэнергии

Table 4. Environmental penalty points for different types of used energy sources

| Топливо / технология                 | Штрафной экологический балл |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| Бурый уголь                          | 1735                        |
| Нефтяное топливо                     | 1398                        |
| Каменный уголь                       | 1356                        |
| Ядерное топливо                      | 672                         |
| Солнечные фотоэлектрические элементы | 461                         |
| Природный газ                        | 267                         |
| Ветер                                | 65                          |
| Малые ГЭС                            | 5                           |

## ВЫВОДЫ

К положительным сторонам использования солнечных и ветровых электростанций можно отнести следующее:

1) возобновляемые нетрадиционные источники энергии являются экологически более безопасными в процессе эксплуатации;

2) согласно приведенным таблицам, очевидно, что солнечные фотоэлектрические установки на солнечных электростанциях, ветроэлектростанции и солнечные тепловые станции обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными типами электростанций, использующими невозобновляемые источники энергии. Также данные типы станций обладают значительно более низким штрафным экологическим баллом;

3) тенденция к уменьшению стоимости 1 кВт электроэнергии благодаря совершенствованию производства.

К негативным сторонам использования солнечных и ветровых электростанций можно отнести следующее:

1) негативное влияние на окружающую среду при производстве и утилизации отдельных элементов электростанций;

2) в работе был проведен анализ использования земельных площадей для различного типа электростанций. На основании которого можно сделать вывод, что землеёмкость СЭС и ВЭС является более высокой, что приводит к необходимости использования больших площадей земли для выработки такого же количества энергии по сравнению со многими традиционными электростанциями;

3) начальные финансовые вложения в создание солнечных и ветровых электростанций велики в виду высокой стоимости оборудования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Безруких П.П., 2008. Использование энергии ветра. Техника, экономика, экология. – М.: Колос, Гелиос. – 196.

2. Болятко В.В., Демин В.М., Евланов В.В., Ксенофонтов А.И., Скотникова О.Г., 2008. Основы экологии и охраны окружающей среды: Учебное пособие. – М.: МИФИ. – 260.

3. Болятко В.В., Ксенофонтов А.И., Харитонов В.В., 2010. Экология ядерной и возобновляемой энергетики. – М.: НИЯУ МИФИ. – 264.

4. Боровский Б., Лапина Е., 2010. Экологические последствия сжигания природного газа и «зеленого» угля в энергетических системах. Lublin: MOTROL. — Commission of motorization and energetics in agriculture : Polish Academy of sciences. — Vol. 12D, 95—100.

5. Васильев Ю.С., Хрисанов Н.И., 1991. Экология использования возобновляющихся энергоисточников. – М. Изд-во Ленинградского ун-та.

6. Ветрова Н. М., 2010. Особенности современного состояния проблемы энергоснабжения Крыма . Lublin: MOTROL. — Commission of motorization and energetics in agriculture : Polish Academy of sciences. — Vol. 12C, 121—128.

7. Ветрова Н. М., 2010. Устойчивость окружающей природной среды и оценка уровня экологической безопасности региона . Lublin: MOTROL. — Commission of motorization and energetics in agriculture : Polish Academy of sciences. — Vol. 12 D, 181—190.

8. Харитонов В.В., 2007. Энергетика. Технико-экономические основы: Учебное пособие. – М.: МИФИ. – 344.

9. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К., 2008. Солнечная энергетика. Учебное пособие для ВУЗов, под ред. В.И. Виссарионова. – М.: изд. дом МЭИ. – 260.

10. Використання паливно-енергетичних ресурсів підприємствами (організаціями) АР Крим за 2008 рік – Сімферополь: головне управління статистики в автономній республіці Крим, 2008. – 213.

11. Голованчиков А.Б., Галушак В.С., Лебедева Ю.В., 2007. Экологический мониторинг солнечной электростанции.

Волгоград, Россия: Альтернативная энергетика и экология. АЭЭ. – № 5 (49)

12. ГОСТ 19798-74. Фотоэлементы. Общие технические условия.
13. Кормилицын В.И., 1993. Основы экологии, под ред. Л.А. Рихтера. – М.: изд. дом МЭИ.
14. Коробкин В.И., Передельский Л.В., 2000. Экология. – Ростов н/Д.: изд-во «Феникс». – 576.
15. де Рензо Д. и др., 1982. Ветроэнергетика, под редакцией Д. де Рензо: Пер. с англ.: М.: Энергоатомиздат. – 271.

#### ENVIRONMENTAL CHARACTERISTIC OF SOLAR AND WIND POWER PLANTS

**Summary.** Environmental safety characteristics of solar and wind power plants during the construction and operation are investigated. Issues of a solar cells production and a land allocation for renewable energy sources are discussed.

**Keywords:** environmental Safety, renewable Energy, solar and wind power plants, energy conservation.

## ПРИМЕНЕНИЕ СОСТАВНЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ БАЛОК В КОНСТРУКЦИЯХ МАЛОЭТАЖНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ДОМОВ

Лютов Лев

**Аннотация.** Рассмотрены виды составных балок применяемых при строительстве каркасных деревянных домов, так же предложена новая конструкция составной комбинированной двутавровой балки.

**Ключевые слова:** деревянные дома, балки, OSB, профлист, волнистый стальной лист, стальные нагели.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

На сегодняшний день в Украине наблюдается устойчивая тенденция увеличения доли малоэтажных домов в общих объемах строительства. Это обстоятельство обуславливается стремлением людей к комфорту и большей свободе от различных коммунальных служб.

Первое место по популярности в качестве материала для каркаса здания в Украине занимает железобетон, в связи с его широкой доступностью, невысокой стоимостью, простотой использования, но при этом высокими прочностными характеристиками. На втором месте по популярности стоит металл. Главным преимуществом металлических конструкций является их легкость, однако, в следствие высокой стоимости металла малоэтажные здания с металлическим каркасом не получили широкого распространения.

В США и Канаде наиболее популярным материалом для строительства малоэтажных зданий является дерево. В Украине деревянные каркасные дома только начали завоевывать строительный рынок.

Современные деревянные каркасные конструкции ни в чем не уступают кирпичным и бетонным, оставаясь при этом достаточно прочными и экономичными. Правильно спроектированный и построенный каркасный дом обладает высокими теплосберегающими свойствами.

В качестве элементов каркаса в деревянных домах используются либо деревянные брусья и доски, либо двутавровые комбинированные балки. К преимуществам двутавровых балок перед брусьями относится большая жесткость и прочность конструкции.

На сегодняшний день наиболее распространены балки со стенкой из листа OSB вклеенной в паз в деревянные брусья полов [14]. К ее преимуществам относится небольшой вес, высокая энергоэффективность конструкции и возможность прокладки коммуникаций через отверстия, выполненные в стенке. К недостаткам - токсичность при горении из-за использования фенолформальдегидного клея для производства OSB, а также появление скрипов при приложении нагрузки после усушки. Балки со стенкой из OSB

применяется в качестве несущих элементов перекрытий или покрытий при пролетах 4,5; 6,5 м, максимально допустимый пролет – 12м.



Рис.1. Комбинированная двутавровая балка со стенкой из OSB.

Fig.1. The combined I-beam with the OSB web

Так же в качестве элементов каркаса применяются комбинированные балки HTS [14]. Данная конструкция впервые появилась в Европе в 1971 году. На данный момент в Европейском Союзе работают 6 заводов по их изготовлению, и 1 завод в России. Балка выполняется с параллельными поясами. Пояса изготавливаются из древесины



Рис. 2. Балка HTS

Fig.2. HTS Beam

хвойных пород. Стенка представляет собой гофрированный стальной оцинкованный лист с выштампованными зубьями S-образной формы с шагом 50 мм для предотвращения раскалывания поясных брусьев. Балки HTS применяются как в качестве стропил и прогонов, так и в качестве балок перекрытий или колонн. Максимально допустимая длина балки - 24 м. Балки HTS способны воспринимать нагрузку до 500 кг/м и имеют массу около 6,8 кг/м. К ее плюсам относится легкость, энергоэффективность и высокая местная устойчивость стенки за счет применения гофрированного стального листа. К минусам-

необходимость изготовления стальных листов с гофрами определенной формы, а также



необходимость в дорогостоящем оборудовании для прессования.

Рис.3. Балка HTS в качестве несущих элементов каркаса малоэтажного дома

Fig.3. HTS beam as bearing frame members of low-rise house

### РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Таким образом, рассмотрев наиболее распространенные конструкции балок, применяемых в каркасном малоэтажном строительстве, можно сделать вывод, что актуальна разработка новой конструкции балки, которая была бы одновременно простой в изготовлении, экономичной и обладала относительно высокими прочностными характеристиками.

На основании этого нами предложена двутавровая балка с поясами из древесины и стенкой из волнистого металлического листа, прототипом которой можно назвать балку конструкции HTS.

В предложенной конструкции брусья поясов распиливаются в длину по синусоиде и крепятся к волнистому металлическому листу посредством стальных нагелей. Для защиты балки от коррозии стенка выполняется из оцинкованного металла, а в качестве нагелей используются анодированные шурупы. Деревянные пояса для защиты от вредителей и придания огнезащитных свойств необходимо покрывать специальным биоогнезащитным составом.

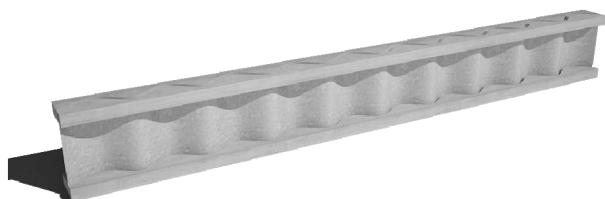


Рис.4. Комбинированная балка с волнистой металлической стенкой и поясами из древесины

Fig.4. Combined beam with corrugated metal web and flanges made of wood

Применяться балки рассматриваемой конструкции могут в качестве несущих элементов перекрытий и покрытий малоэтажных каркасных деревянных домов, для устройства мансард на существующих зданиях, а также в качестве опалубки при бетонировании перекрытий в монолитных домах. На данный момент рассматривается применение балок длиной до 9м.

К положительным сторонам данной балки относится легкость, высокая местная устойчивость волнистой стенки и особенно следует отметить отсутствие необходимости в дорогостоящем оборудовании для изготовления балки. Однако наличие мостика холода и необходимость в ручном труде для ее изготовления являются отрицательными сторонами.

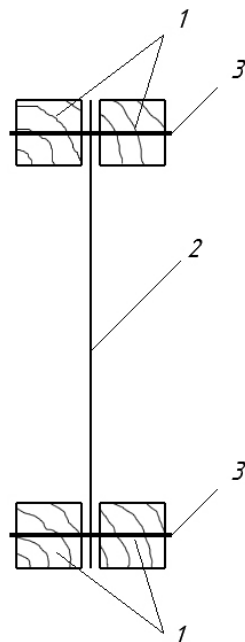


Рис.5. Поперечное сечение комбинированной балки на стальных нагелях.

- 1- деревянный брус
- 2- стальная волнистая стенка
- 3- нагель

Fig.5. Cross section of the combined beam with steel dowels

- 1- wooden flange
- 2- corrugated steel web
- 3- dowel

Нами были проведены исследования работы балки схожей конструкции, однако для упрощения, в качестве стенки использовался металлический профлист с высотой волны 20мм.

Изучение работы балки выполнялось тремя путями:

- анализом напряженно – деформированного состояния элементов составной балки на компьютерных моделях, созданных в ПК ЛИРА;
- экспериментальным исследованием напряженно-деформированного состояния элементов балки;
- анализом результатов расчета по существующим методикам [1,2,4,5,6] для данного типа конструкций.

Экспериментальное исследование образца балки длиной 2м проводилось по схеме указанной на рис.6. В ходе эксперимента разрушение балки наступило в результате потери общей устойчивости при нагрузке 1400 кг и максимальном прогибе – 13,8мм.



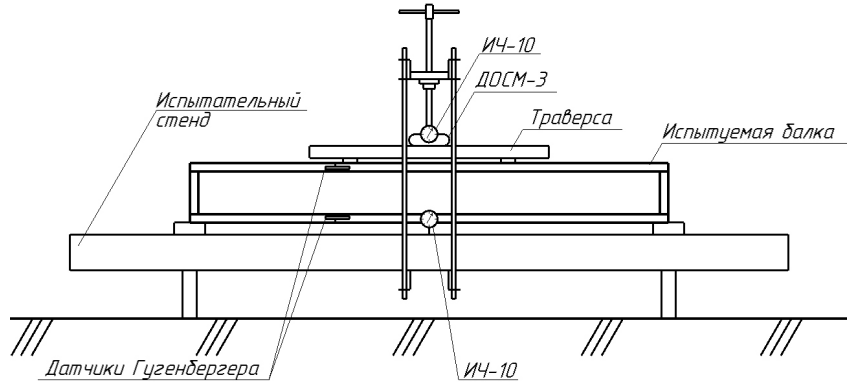


Рис.6. Схема проведения испытаний  
Fig.6. Scheme of testing

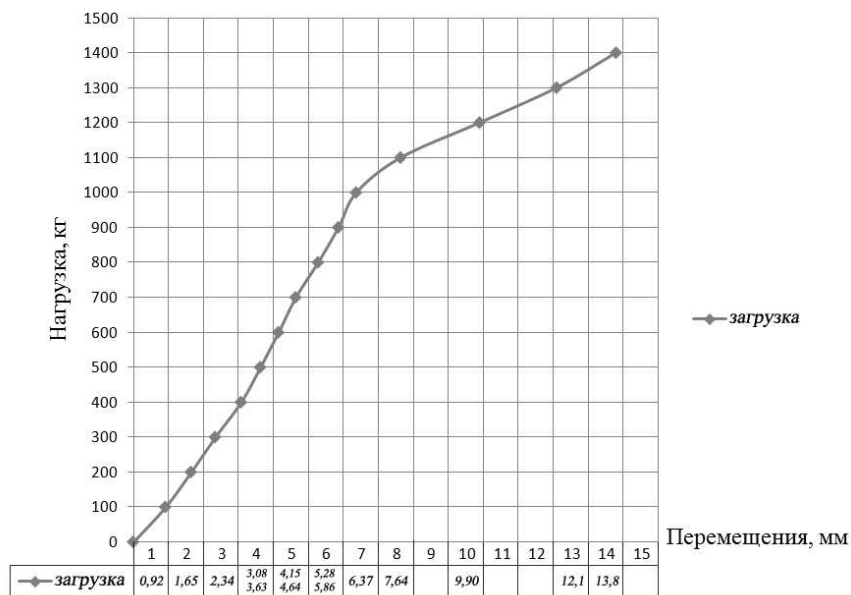


Рис.7. График прогиба балки  
Fig.7. Graph of beam deflection

Также, при сравнении максимальных значений нормальных и касательных напряжений, полученных в результате расчета по существующим методикам и расчета в ПК Ли́ра, с нелинейной постановкой задачи, были получены погрешности более 10%. Однако, в связи со схожестью графиков прогибов, полученных в результате эксперимента и расчета в ПК ЛИРА (рис.9, fig.9.), можно говорить о том, что расчет в ПК ЛИРА более точно описывает работу комбинированной балки на стальных нагелях, чем расчет по существующим методикам.

Таким образом, дальнейшей целью работы является разработка методики расчета комбинированных балок предложенной конструкции.

### ВЫВОДЫ

В работе был проведен обзор самых популярных конструктивных решений комбинированных балок применяемых на сегодняшний день в деревянном малоэтажном строительстве. Который показал, что у каждой конструкции есть свои недостатки, основным из которых является необходимость в

дорогостоящем оборудовании для их производства. В связи с этим предложена новая конструкция деревометаллической двутавровой балки на стальных нагелях.

Проведен расчет балки со стенкой из профлиста по существующим методикам расчета балок с гофрированной стенкой.

Построена расчетная компьютерная модель деревометаллической балки со стенкой из профлиста в ПК ЛИРА, и проведен анализ напряженно – деформированного состояния ее элементов.

Проведены натурные испытания балки на испытательном стенде. В результате которых определено, что разрушение балки наступает в результате потери общей устойчивости при нагрузке 1400 кг при прогибе 13,8мм.

Сравнительный анализ результатов показал, что расчет по существующим методикам балок схожей конструкции дает результат с большой погрешностью. Для получения более точных результатов, необходимо создавать компьютерную модель балки и выполнять ее расчет в ПК ЛИРА.

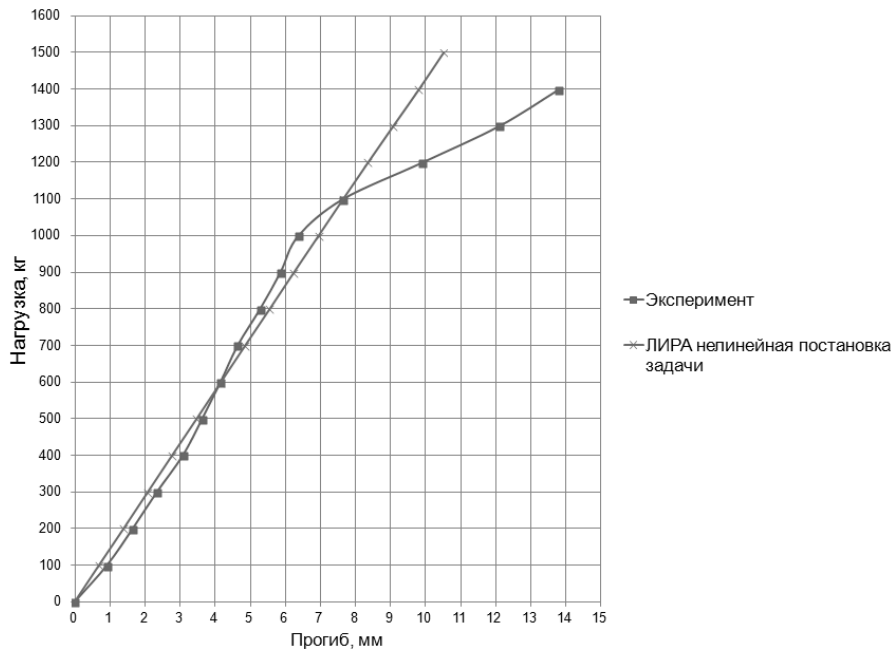


Рис.8. График прогиба балки по результатам эксперимента и расчета в ПК ЛИРА  
Fig.8. Graph of beam deflection on results of experiment and calculation made in PC LIRA



Рис.9. Балка на испытательном стенде  
Fig.9. Beam on the test stand

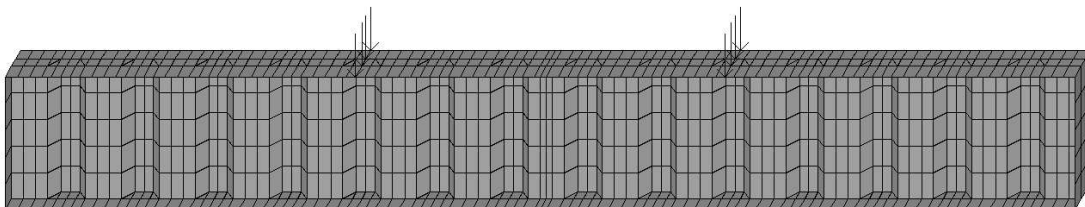


Рис.10. Модель балки выполненная в ПК ЛИРА  
Fig.10. Model of the beam made in LIRA

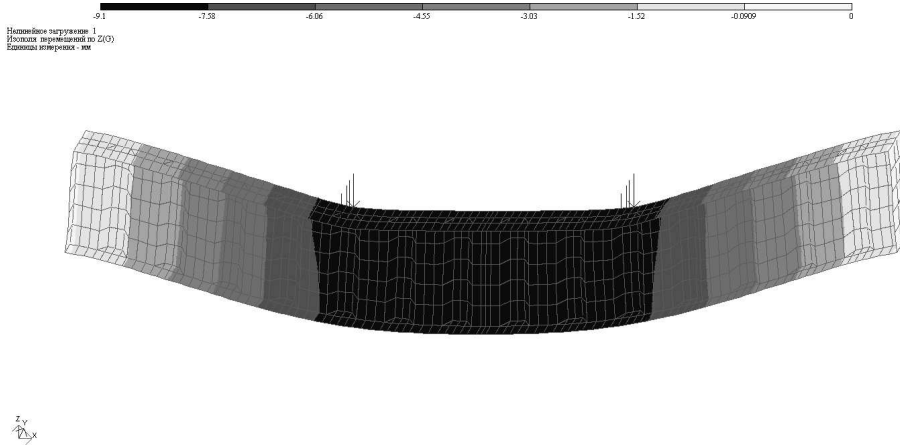


Рис.11. Изополя перемещений по оси Z балки с гофрированной стенкой выполненной в ПК ЛИРА  
Fig.11. Isofields of z axis movement of beam with corrugated web made in PC LIRA.

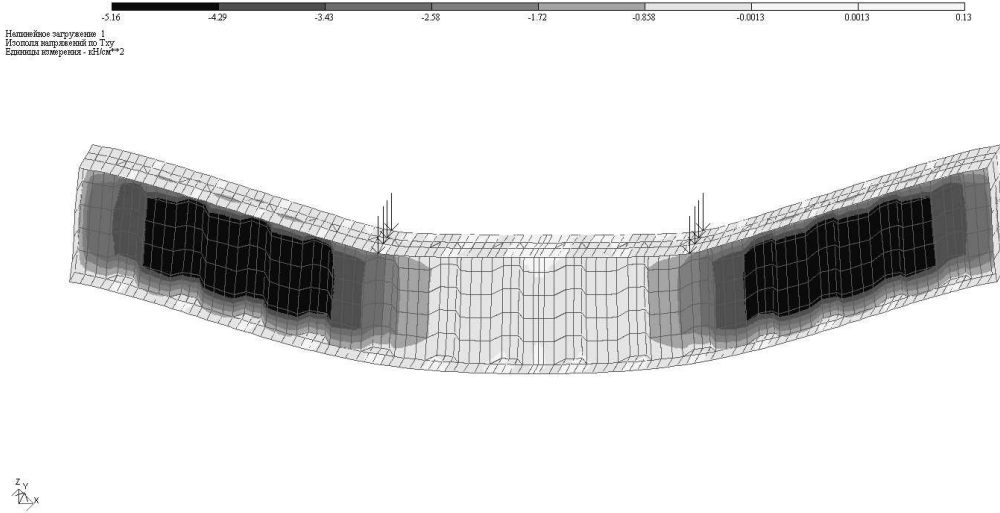


Рис.12. Изополя касательных напряжений  $\tau_{xy}$  в балке  
Fig.12. Isofields of tangent tensions  $\tau_{xy}$  in the beam

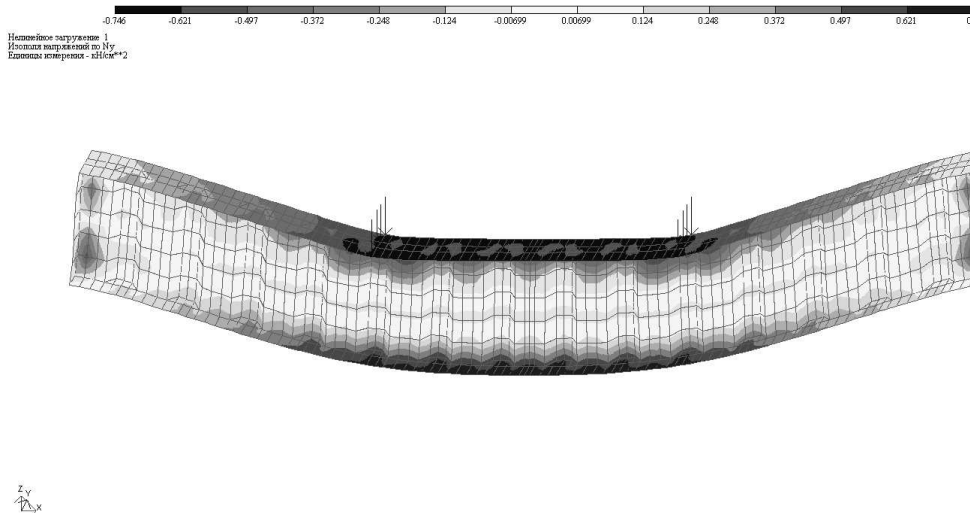


Рис.13. Изополя нормальных продольных напряжений  
Fig.13. Isofields of normal longitudinal tensions in the beam

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП II-25-80. 1983. Деревянные конструкции. Нормы проектирования/ Госстрой СССР.- М.: Стройиздат.-31..
2. СНиП II-23-81\*. 1990. Стальные конструкции. Нормы проектирования. - М.: Стройиздат, ДБН В.1.2-2:2006 Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования. / Минстрой Украины.- К
3. Синцов А.В. 2012. К расчету составных деревянных двутавровых балок со стенкой из OSB и нагельными соединениями поясов со стенкой. Сб. научных трудов ОГАСА. Том 4 (16)..203.
4. ДБН В.2.6-163:2010. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу. / Минстрой Украины.- К.
5. Нилов О.О., Пермяков В.О., Шимановский О.В., Билык С.И., Лавриненко Л.И., Белов И.Д., Володимирский В.О. 2010. Металеві конструкції: Загальний курс: Підручник для вищих навчальних закладів- Издание 2-е, переделанное и дополненное / Под общей редакцией О.О. Нилова и О.В. Шимановского. – К.: Видавництво «Сталь»,263-271.
6. Гринь И.М. 1975. Строительные конструкции из дерева и синтетических материалов. Проектирование и расчет. Издательское объединение «Вища школа», 36-38.
7. Беленя Е.И., Балдин В.А., Ведеников Г.С. и др. 1986. Металлические конструкции. Общий курс: Учебник для вузов; Под общ. ред. Е.И. Беленя. – 6-е изд., перераб. и доп.- М.: Стройиздат., 4-15.
8. 23. Иванов В.Ф. 1956. Деревянные конструкции. Л.:Госстройиздат, . 4-18.
9. Тимошенко С.П. 1965. Сопротивление материалов, т.1 М.: Издательство «Наука», 364.
10. Ажермачев Г.А. 1963. Об устойчивости волнистой стенки при действии сосредоточенной нагрузки. //Строительство и архитектура. №3.
11. Ажермачев Г.А. 1968. Об устойчивости волнистых стенок двутавровых балок при действии касательных усилий. //Строительство и архитектура. №5. 44-46.
12. Ажермачев Г.А. 1969. Исследование сварных стальных балок с волнистыми стенками. Автореф. дис. на соик. уч. степ. канд. техн. наук. Новосибирск. НИСИ. 16 .
13. Карлсен Г.Г., Большаков В.В., Каган М.Е., Свенцицкий Г.В. 1952. Деревянные конструкции издание 2-е перераб.; Под редакцией Г.Г. Карлсена. М.: Государственное издательство литературы по строительству.
14. Ковалев В. 2010. Прочно, быстро, экономично (быстровозводимые конструкции междуэтажных перекрытий) // Идеи вашего дома. №4(138).
15. Кириленко В.Ф. 2009. Механическое оборудование и технологические линии по изготовлению деревофанерных балок. //«MOTROL» 11 А. Simferopol-Lublin. 183-190.
16. Синцов В.П., Кравчатая Ю.Ю., 2009. Комбинированные металлодеревянные плиты покрытия с обшивкой из OSB. //«MOTROL» 11А. Simferopol-Lublin..289-294.

APPLICATION OF COMPOSITE COMBINED BEAMS IN THE CONSTRUCTIONS OF LOW-RISE HOUSES

**Summary:** Were considered different types of the composite beams for construction of the wooden frame houses as well as were offered new construction combination of composite I-beam

**Key words:** wooden houses, beams, OSB, corrugated sheet, steel dowel

## НАПРЯЖЕННО ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ОПОРНОЙ СТОЙКИ МОРСКОЙ СТАЛЬНОЙ СТАЦИОНАРНОЙ ПЛАТФОРМЫ В ЗОНЕ КОНТАКТА СО ЛЬДОМ

Владимир Синцов, Александр Фурсов

Симферополь Национальная Академия природоохранного и курортного строительства

г. Симферополь, ул. Павленко, 5, корпус 2, к. 301.

E-mail: alexandr\_pro@hotmail.com

**Аннотация.** В условиях замерзающих морей, морские стационарные платформы подвергаются значительным нагрузкам в области контакта со льдом, представлен вариант конструкции активной защиты опорного блока от ледовых нагрузок, и его сравнение с существующей конструкцией платформы, изучено напряженно деформированное состояние моделей в программном комплексе Лира. Данное сравнение заключается в первую очередь в определении оптимума контактного взаимодействия, при которой ледовая нагрузка на конструкцию будет минимальной и не приведет к его разрушению, а противодействие этой нагрузки будет максимально разрушать лед.

**Ключевые слова:** ледовая нагрузка, морские стационарные платформы, металл, прочность.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Оптимизировать форму опорной стойки морской стационарной платформы за разработанными моделями ледовых нагрузок.

Основная задача заключалась в том, чтобы подобрать оптимальный угол наклона ледяной льдины, при котором будет происходить наиболее эффективное разрушение. Для этого на платформе представленной как пример на рис. 1, с помощью компьютерного моделирования устанавливаем ледоразрушающий элемент, разбитый на конечные элементы.

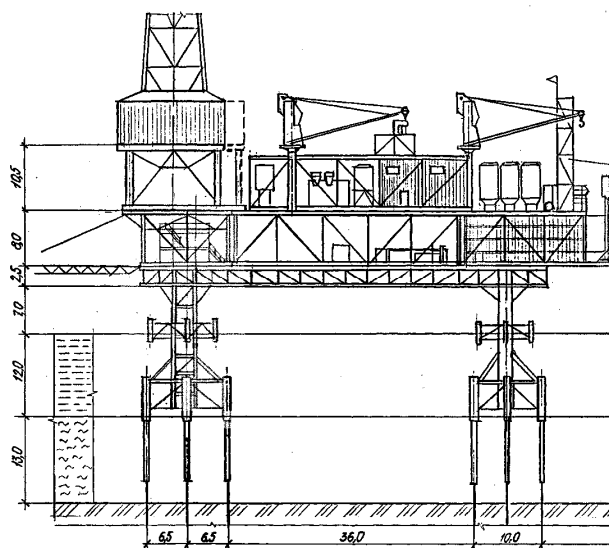


Рис.1. Внешний вид платформы Восточно-Казантипского месторождения.

Figure 1. Presence of the East-Kazantipsk field.

Для реализации построенной расчетной схемы (рис. 2) применим рекомендуемые с этой

целью программные продукты Лира и Ansys.

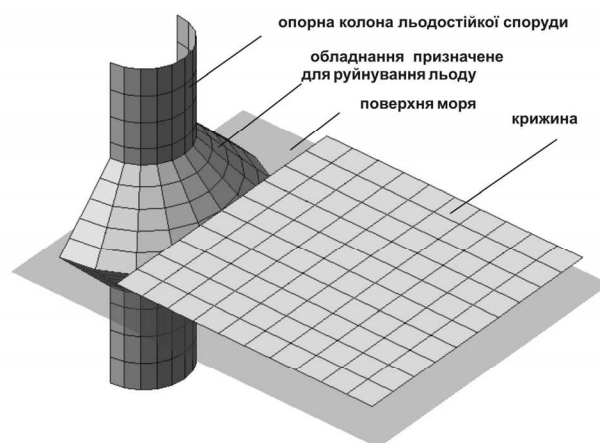


Рис. 2. Расчетная схема ледовой нагрузки  
Figure 2. Design scheme of the ice load.

В системе «Лира» используется прямой метод построения уравнений жесткости, который состоит из следующих шагов.

Поле перемещений элемента  $\Delta$  выражается в терминах конечного числа параметров  $\{a\}$ . Желательно, чтобы ими были меры свободы в узлах  $\{D\}$ . Если выбранные параметры  $\{a\}$ , что не имеют физического смысла, то необходимо задать превращения, которые связывают указанные параметры с теми, что имеют физический смысл мерами свободы  $\{D\}$ . Поле деформаций  $\varepsilon$  выражается в терминах мер свободы  $\{D\}$  с помощью дифференцирования поля перемещений согласно к соотношениям, которые связывают деформации с перемещениями. С учетом уравнений состояния устанавливается связь между полем напряжений и мерами свободы  $\{D\}$ . С помощью определения

усилий, статически эквивалентных напряжению, что действует на грани элемента, выводятся выражения для сил в узлах элемента  $\{F\}$  в зависимости от вида поля напряжений  $\beta$ . Поскольку поле напряжений выражено в слагаемых  $\{D\}$  (шаг 3), то на данном шаге можно связать  $\{F\}$  и  $\{\Delta\}$ . Результирующие соотношения есть, по определению, уравнения жесткости элемента. При применении пакета Ansys используют метод взвешенных невязок. Использование метода конечных элементов для решения с помощью взвешенных невязок заключается в том, что выбрана для аппроксимации независимой переменной пробная функция изначально не удовлетворяет уравнению определения. При этом подстановка пробной функции в дифференциальные уравнения определения приводит к несовпадению («невязки»), которая описывается соответствующей функцией. Таким образом, решение заключается в минимизации интегралу «невязок». Применение этого метода дает возможность не только решать задачу механики твердого деформированного тела, но и учесть физико-химические свойства среды и тел контакта. Сформируем конечноэлементную модель контакта ледового поля с ледоразрушающим элементом (рис.3).

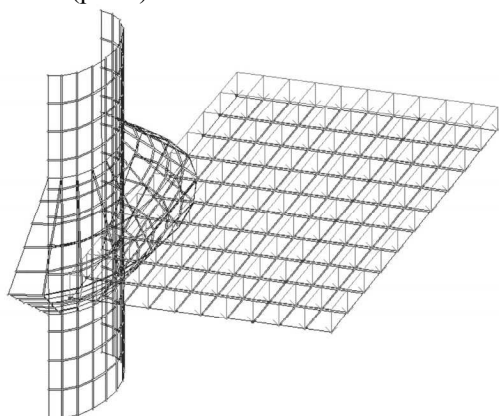
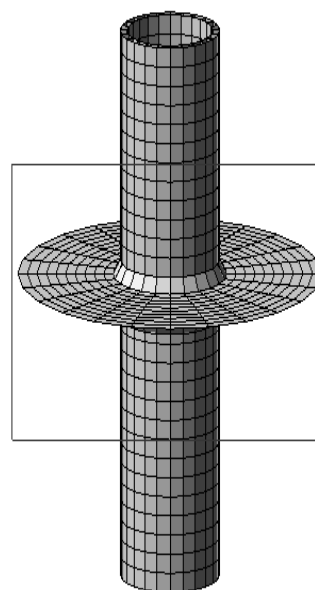


Рис. 3. Конечно-элементная модель разрушения льда.

Figure 3. Finite-element ice destruction model.

Задав исходные параметры льда (см. раздел 1), рассчитаем нагрузку на опорные узлы под действием собственного веса льдины (рис. 4).

Рассмотрим стойку ледостойкой морской стационарной платформы с конусным расширением в зоне контакта с льдом. Стойка представленная в виде двух труб: внутренней 1020x25., внешней 1420x20 межтрубное пространство заполнено



бетоном, что приводит к повышению местной стойкости стенок трубы, повышает сопротивление оболочки смятию в зонах соединений и при ударных действиях. Конусное расширение в зоне контакта с льдом уменьшает давление льда.

Рис. 4. Усовершенствованная стойка морской стационарной платформы.

Figure 4. Enhanced support column of marine stationary platform.

Учитывая все вышеизложенное, при создании расчетной модели ледовое поле строили из плоских элементов типа Ke51 с характеристиками для условий Азовского моря. Дополнение нагрузки к участку ледового поля имитировало возможное перемещение ледового поля в естественных условиях. Для получения картины напряжений – деформированного состояния элементов опорной стойки узлы элементов ледового поля в зоне контакта объединяли с узлами элементов опорной стойки.

Результаты расчета в виде распределения момента напряжений ледового поля и мозаики усилий напряжений представлены, соответственно, на рис. 5 та рис. 6.

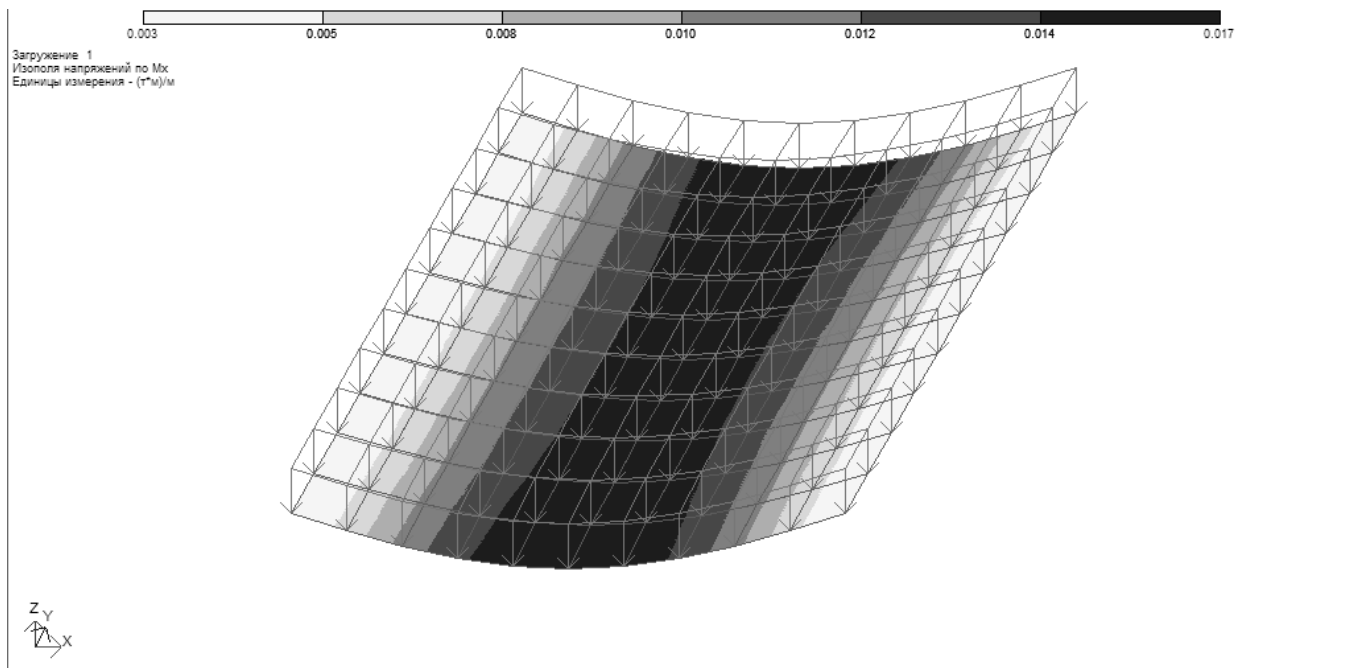


Рис. 5. Распределения момента напряжений ледового поля.  
Figure 5. Stress distribution of the ice field.

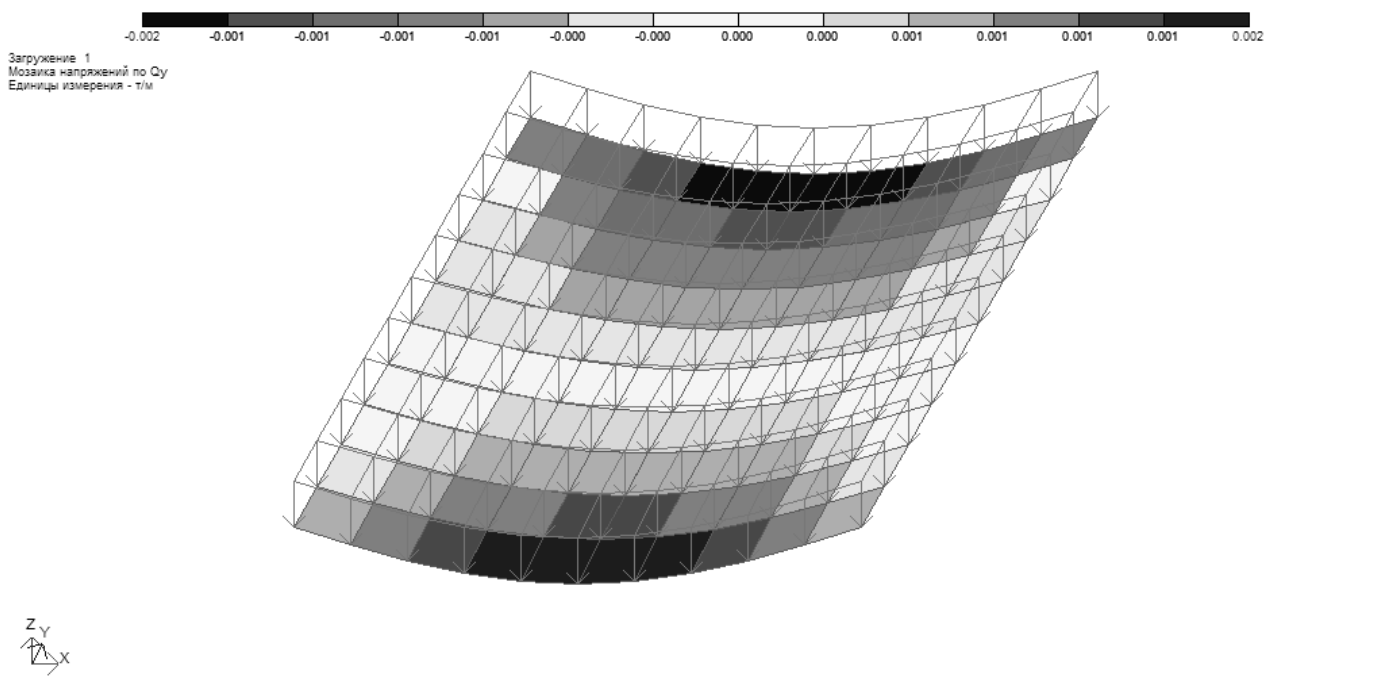


Рис.6. Мозаика усилий напряжений ледового поля.  
Figure 6. Mosaic efforts of ice field stress.

Были также получены изополя напряжений (рис. 7) и перемещений (рис. 8) в зоне контакта со льдом.

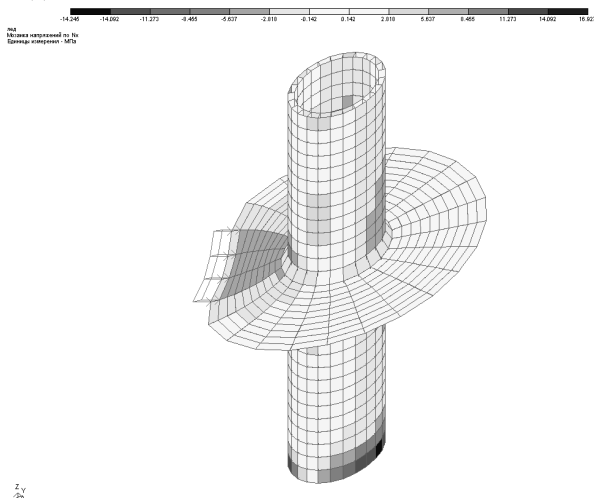


Рис.7. Изополя напряжений расчетной модели.  
Figure 7. Stress iso-fields of design model.

Максимальное напряжение в элементах ледового поля составило 4 МПа за прямым методом (приложение А) и 3,75 МПа за методом взвешенных нев'язок (приложение Б). При взаимодействии льда с наклонными конструкциями ледовое поле разрушается от изгиба при напряжении от 0,5 (приложение А) к 1,5МПа (приложение Б) и возникновении трещин. Согласно с полученными результатами происходит разрушение льда в зоне контакта с опорной стойкой, что ведет к снижению нагрузки.

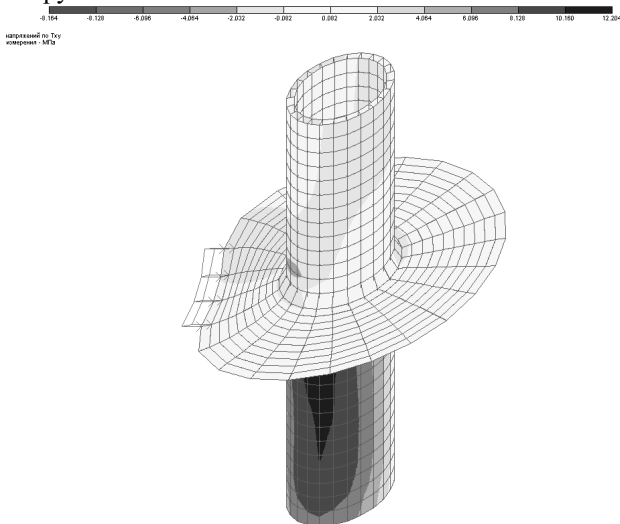


Рис.8. Изополя перемещений расчетной модели.  
Figure 8. Movement iso-fields of design model.

Оптимальным углом для разрушения ледового поля игольчатого типа, который надвигается на сооружение  $50^\circ$  (по приложению А) и  $54^\circ$  (по приложению Б). Для разрушения старого, плавающего под поверхностью, льда угол нижнего

конуса определен,  $38^\circ$  (по приложению А) и  $43^\circ$  (по приложению Б). Для разрушения ледовых торосов необходимо оптимизировать прочность конструкции, принимая угол верхнего конуса  $53^\circ$  и нижнего конуса  $41^\circ$ .

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Оптимизация основных размеров опорной стойки морской стационарной платформы за разработанными моделями ледовых нагрузок.

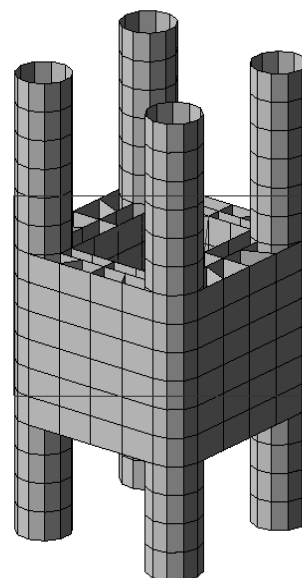
Большая эффективность разрушения льда разработанной конструкции сравнительно с базовыми конструкциями опор морских нефтегазовых сооружений не вызывает сомнения. Однако общая прочность такой конструкции, которая также связана с разрушением торосов, нуждается в обосновании. Поскольку, в предлагаемом варианте был конструктивно изменен опорный блок морской стационарной платформы в зоне контакта с льдом, предлагаем сравнить его с базовой конструкцией, как это рекомендует.

В разработанных моделях (Рис.9 а, б) с оптимизированной формой ледоразрушающего устройству изменим базовую конструкцию опорной колонны на самую сложную из применяемых в Азовском море (рис.9). На рис.10, 11 приведенных результата расчетов стойки и сравненного анализа работы существующего опорного блока и конструктивно измененной стойки опорного блока морской стационарной платформы с использованием рекомендаций относительно расчета контактных напряжений.

Рис.9 Опорная стойка ледостойкой морской стационарной платформы.

а) традиционной

Figure 9. Supporting column of the ice-resistant marine stationary platform. a) traditional





К элементам опорных стоек расчетной модели опорных блоков была приложена горизонтальная нагрузка, что моделирует собой ледовое влияние.

В результате расчетов полученные изополя напряжений в деформационной схеме расчетной базовой модели и конструктивно измененной (рис.10), а также изополя перемещений этих же моделей (рис.11)

**ВЫВОДЫ:**

Результаты исследований показали, что напряжение в элементах предложенного варианта опорных стоек снизилось на 35-40% по сравнению с напряжениями, которые возникают в аналогичных элементах базовой модели в точках контакта с льдом. Перемещение изменилось в элементах с 58

мм базовой модели до 5мм конструкции предложенного варианта в точках ледового действия. При взаимодействии льда с наклонными конструкциями ледяное поле разрушается от изгиба и возникновения трещин, а это в свою очередь ведет к снижению контактного напряжения, особенно при достаточно больших зонах контакта.

В предложенной конструкции модели опорного блока ледостойкой морской стационарной платформы напряжения и перемещения снизилась за счет изменения цилиндровой формы на конусное расширение, однако величина напряжений и деформаций также влияют на выбор материала и в итоге формируют геометрию конструкции.

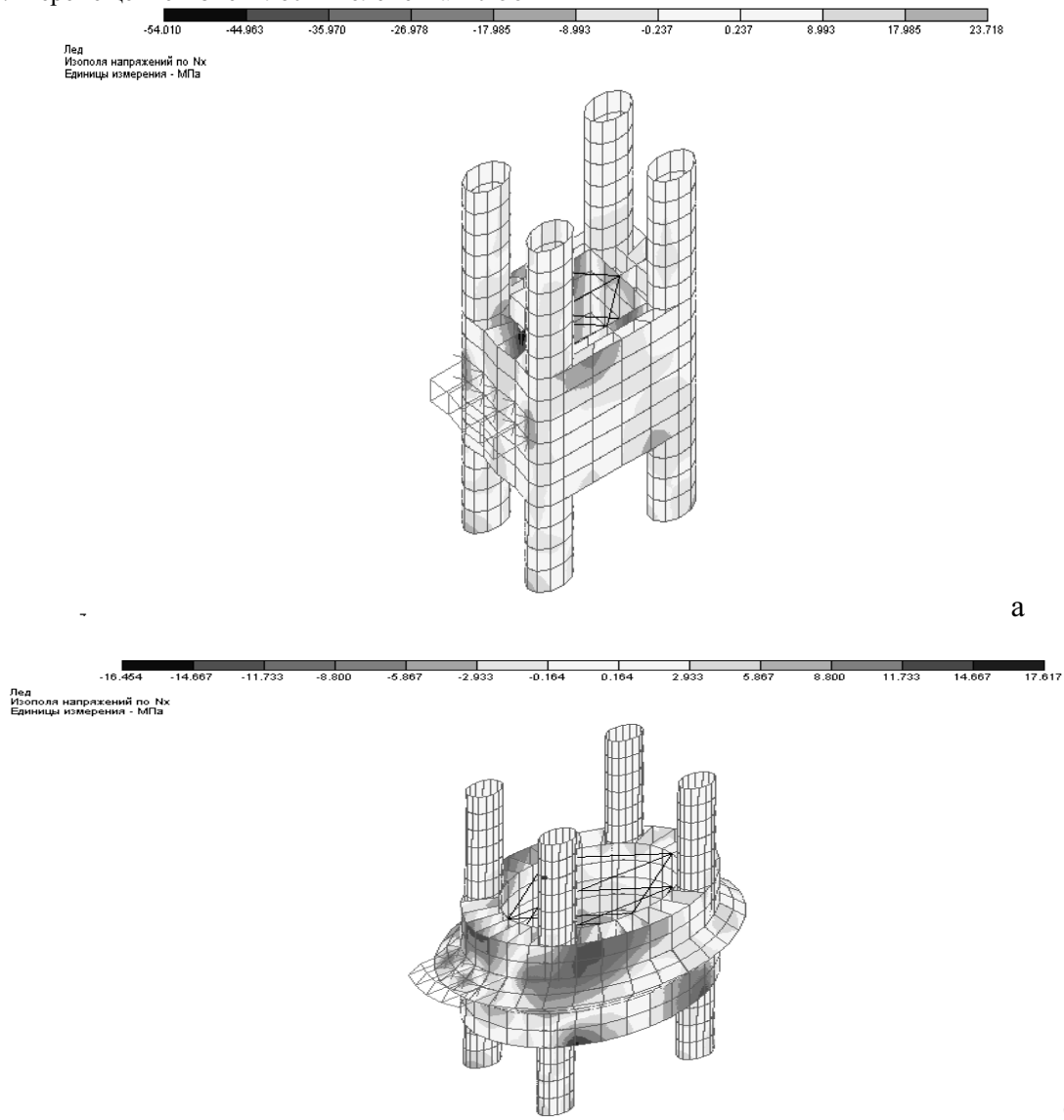


Рис. 10. Изополя напряжений в деформационной схеме расчетной базовой модели (а) и конструктивно измененной (б)

Figure 10. Stress iso-fields of strains scheme in calculated basic model (a) and (b) affirmatively changed

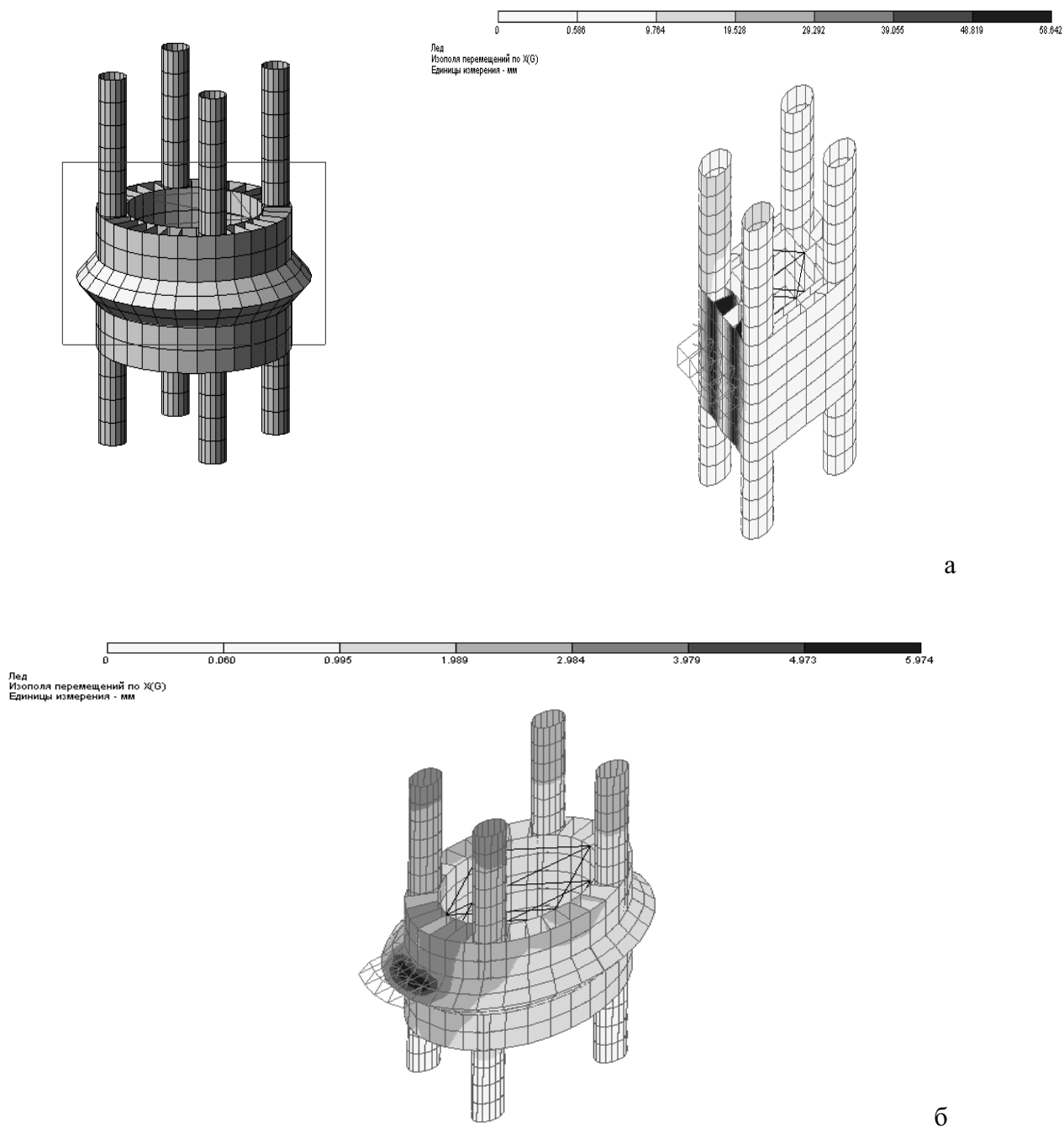


Рис. 11. Изополя перемещений в деформационной схеме расчетной базовой модели (а) и конструктивно измененной (б)

Figure 11. Movement iso-fields of strains scheme in calculated basic model (a) and (b) affirmatively changed

#### ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия/Госстрой СССР. — М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. - 36 с.
2. СНиП П-23-81\*. Стальные конструкции. Нормы проектирования. Госстрой СССР - М.: ЦИТП, 1990.
3. Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок (ПБУ) и

- морских стационарных платформ (МСП): по состоянию на 30.06.2008/ Российский Морской Регистр Судоходства (РМРС).- НД№2-020201-008. Санкт-Петербург, 2008.-502 с. (библиотека официальных изданий).- ISBN 5-89331-116-7.
4. Барабанов Н. В. 1981. Конструкция корпуса морских судов. Л.: Судостроение.551.
5. Бородавкин П.П. 2006. Морские нефтегазовые сооружения. Часть 1. Конструирование: Недра-Бизнесцентр; 560 .

6. Ефремкин И. М., Холмянский М.А. 2008. "Геоэкологическое сопровождение освоения нефтегазовых месторождений Арктического шельфа".
7. Мирзоев Д.А. 1992. "Нефтегазо-промысловые ледостойкие сооружения мелководного шельфа".
8. Зонин М.С., Дзюбло А.Д., 1990. "Коллекторы морского нефтегазоносного комплекса Севера Западной Сибири".
9. Никитин Б.А., Мирзоев Д.А. 2005. "Методика выбора основного варианта конструкции морских ледостойких платформ".
10. И.А. Суворова : "Основы безопасности при проектировании объектов обустройства месторождений углеводородов шельфа арктических морей", 2001 г.
11. Матишов Г.Г., Никитин Б.А., Сочнев О.Я. 2001: "Экологическая безопасность и мониторинг при освоении месторождений углеводородов на арктическом шельфе".
12. Мирзоев Д.А. 2009."Основы морского нефтегазового дела", Том 1 "Обустройство морских нефтегазовых месторождений".
13. Фурсов А.Ю. Типы морских стационарных Платформ используемые гао "Черноморнефтегаз" на шельфе черного и азовского морей /// MOTROL. — Commission of motorization and energetics in agriculture : Polish Academy of sciences. — Lublin, 2012. — Vol. 14, № 6. — P. 39—44.
14. Мирзоев Д.А., Богатырева Е.В.2005. "Морские нефтегазовые промыслы".
15. Оганов А.С. 2001. "Многозабойное бурение скважин- развитие, проблемы и успехи".
16. Сукач М. 2009. Проблемы добычи твердых полезных ископаемых с мирового дна . «MOTROL» сб.научных трудов. Вып. 11 А. Simferopol-Lublin. 116-123.

STRESS STRAIN BEHAVIOR OF THE SUPPORTING COLUMN ELEMENTS OF OFF-SHORE STEEL FIXED PLATFORM IN THE ICE CONTACT AREA

**Summary:** In the freezing seas, offshore fixed platforms are at high loads at the ice contact zone, presented a variation of the design of jacket active protection from ice loads, and compared with the existing design of the platform, studied stress strain behavior of models in the software complex Lira. This comparison is the first to determine the optimum contact interaction, in which the design ice load will be minimal and will not lead to its destruction, and the opposition of the load will be possible to destroy the ice.

**Key words:** ice loads, off-shore steel stationary platform, metal, strength.



## НАПРЯЖЕННОСТЬ И ТЯЖЕСТЬ ТРУДА КАК СОСТАВЛЯЮЩИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ ПРОЦЕССОВ

Василий Шаленный\*, Лина Кислица\*\*

\*Национальная академия природоохранного и курортного строительства

\*\*Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»

Адрес: \*г. Симферополь, ул. Павленко, 3, корпус 2, к. 304-а

e-mail [v\\_shalennyj@mail.ru](mailto:v_shalennyj@mail.ru)

\*\*г. Днепропетровск, ул. Чернышевского, 24-а, к. 313

e-mail [lina\\_kalnysh@ukr.net](mailto:lina_kalnysh@ukr.net)

**Аннотация.** Исследование технико-экономических показателей возможных вариантов механизации монтажного процесса по возведению стальных силосов из оцинкованной стали методом подращивания позволило выявить более экономичные схемы. Для этих схем исследовался показатель тяжести и напряженности труда рабочих. Что позволило оценить и категорию тяжести этого труда, как одного из показателей энергоэффективности рассмотренного технологического процесса.

**Ключевые слова:** монтаж, показатели эффективности, тяжесть труда рабочих.

### ВВЕДЕНИЕ

В Украине, как и других странах Восточной Европы, в последнее время, как приоритетные, проявляются две противоположно действующие социально-экономические проблемы: ресурсо-, и прежде всего, энергосбережение, а также занятость населения. С учетом этого, научные исследования должны быть направлены, с одной стороны, на разработку и внедрение энергосберегающих технологий и оборудования. А с другой стороны, мы должны выбирать и использовать только те технологии, которые реализуются высококвалифицированными специалистами строительной отрасли, пусть иногда и в большем их количестве, но заведомо отказываясь от технологий, использующих малопривлекательный и тяжелый физический труд низкоквалифицированных строительных рабочих, который чаще всего есть и более опасным. А поэтому, кроме общепризнанных показателей конкурентоспособности строительных технологий, таких как себестоимость, трудоемкость и продолжительность, следует рассматривать, учитывать и оптимизировать, и показатели тяжести и напряженности труда рабочих, которые задействованы при реализации безусловно прогрессивных строительного-монтажных процессов. Одним из таких является строительство цилиндрических зернохранилищ из оцинкованной стали методом подращивания [7]. На примере технологии монтажа такого зернохранилища покажем возможность и целесообразность оценки и учета тяжести труда строительных рабочих, как одного из определяющих эффективность этой технологии.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Строительство зернохранилищ для Украины является актуальной проблемой, которая решается путем внедрения технологии монтажа предварительно изготовленных на заводе элементов из оцинкованной стали, что существенно сокращает сроки ввода в эксплуатацию [19]. Кроме сроков строительства, важны также оценочные показатели себестоимости и трудоемкости работ, которыми в большинстве случаев ограничиваются исследователи и производственники при принятии решения о целесообразности и эффективности применения той или иной технологии [1, 6, 16, 18]. В себестоимость строительного-монтажных работ обычно включены и такие важные ресурсы как трудовые и энергетические. Использование трудовых ресурсов выражается через сумму заработной платы производственных рабочих, а энергетические учитывают через расход топлива, электроэнергии, пара и др. при эксплуатации строительной техники, участвующей в технологическом процессе [8, 10, 14, 20, 21].

Рассматривая конкретную технологию, исследователи изучали и оптимизировали затраты энергии на выполнение механической работы соответствующими машинами и механизмами [3, 9, 17]. При этом чаще всего исследовались усилия и перемещения с преодолением сопротивлений, создаваемых рабочей средой, а энергетическая эффективность обосновывалась уменьшением этих усилий и перемещений [2, 15]. Оценка же тяжести и напряженности труда строительных рабочих, участвующих в производственном процессе наряду с техникой, обычно не рассматривалась. В строительной отрасли, впервые в СССР, ВНИПИТруда в строительстве предложено при определении суммарных энергозатрат производственного процесса учитывать и энергоемкость труда рабочих [13]. Там же изложены

и основы методики соответствующих расчетов, которые в то время предлагалось использовать для аттестации и рационализации рабочих мест строителей.

Полученные расчетами энергетические затраты рабочих можно сравнить с нормируемыми по санитарным нормам [4] и, таким образом, иметь представление о тяжести и напряженности труда рабочих при выполнении тех или иных технологических операций, а затем и процессов. Однако нам не известны работы, где бы комплексно рассматривались вопросы эффективности, включая и энергоэффективность строительно-монтажных (либо других) производственных процессов с учетом тяжести труда рабочих.

Цель работы — повышение эффективности монтажных работ по возведению цилиндрических силосных корпусов из оцинкованной стали методом подрачивания. Для чего решались следующие научно-технические задачи:

- ▲ изучение и анализ работ предшественников, способов механизации монтажного процесса с формированием возможных вариантов технологии по признаку комплектации доступным в Украине грузоподъемным оборудованием;

- ▲ разработка принципиально возможных альтернативных вариантов организации монтажного процесса;

- ▲ вычислительные и натурные эксперименты по определению технико-экономических показателей сформированных вариантов протекания процесса монтажа (трудоемкость, себестоимость, продолжительность, энергоемкость);

- ▲ анализ результатов и обоснование рекомендаций по эффективным технологиям монтажа с учетом комплекса изученных показателей.

## МЕТОДИКА, РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ АНАЛИЗ

На практике, чаще всего, монтаж стальных силосов больших диаметров осуществляют при помощи грузоподъемных механизмов, закрепленных на инвентарных шеврах из стальных труб. Эти трубы в нижней части опираются на предварительно изготовленные железобетонные фундаменты и раскрепляются от поворота под нагрузкой (весом поднимаемой части силоса) при помощи якорных систем за пределами фундамента (схема 2 в табл.1). Там же представлены и другие вариации схем монтажа, включая предложенную авторами (схема 1,), где взамен якорной системы закрепления шевров используются инвентарные треугольные фермы, предварительно монтируемые на фундаменте силоса.

В первых двух представленных технологических схемах, как альтернативные, рассматривались пять возможных вариантов механизации подъема (тали ручные цепные,

рычажные и электрические, а также лебедки ручные и электрические). И каждый из перечисленных разновидностей механизмов имел несколько марок этих механизмов, отличающихся грузоподъемностью, страной и фирмой-изготовителем, а следовательно, и стоимостью приобретения соответствующего комплекта. Поэтому в табл. 1 указана средняя стоимость комплекта оборудования, которое можно купить в Украине и минимально необходимое для механизации монтажа унифицированного стального силоса диаметром 22,15 м.

Третий, включенный как возможный вариант механизации подъема — гидравлическими домкратами с системой распределения от центральной масло станции. Эта схема также применяется в Украине, но отличается внушительной стоимостью (минимальная цена комплекта превышает 1 млн. грн.).

Сформированные таким образом возможные технологические комплекты оборудования с необходимым для них количеством рабочих составили исходные данные для расчетов трудоемкости и стоимости производства монтажных работ при возведении одного и того же типоразмера силосного корпуса. Здесь использовались действующие в Украине правила сметных расчетов [5, 12] в ценах прошлого, 2012г.

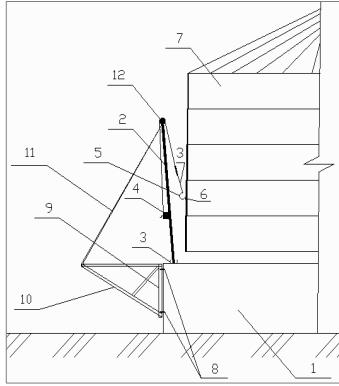

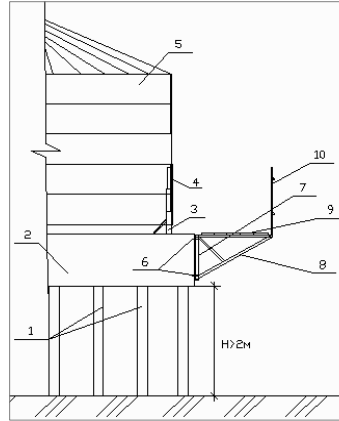
Как результат, определены удельные показатели себестоимости, трудоемкости, а также продолжительности монтажа силосного корпуса (Рис.1).

Как видно из представленной информации, все изученные показатели технологии имеют определенные колебания по рассмотренным организационно-технологическим решениям: себестоимость изменяется от 262,4 до 278,26 грн./куб. м полезного объема силоса (максимально размах колебаний достигает 5,7%); трудоемкость процесса колеблется от 293,22 до 395,33 чел.-дн. (увеличивается на 25,83 % от минимальной трудоемкости); соответственно, изменяется и продолжительность монтажа — с 9 до 15 дней, т.е. на 40 %.

Как и предполагалось ранее, наиболее экономичным по показателю себестоимости процесса, выявилось использование талей, применяемых при возведении силосов по запатентованной нами первой схеме производства монтажных работ. Использование большинства других рассмотренных вариантов технологии оказалось несколько дороже. Применение для подъема домкратной системы оказалось всего лишь на 2,26 % дешевле самых экономичных систем с использованием лебедок канатных с электроприводом. Использование якорных систем закрепления на 1,2% дороже первого способа, а вот самым экономичным оказался вариант с применением гидравлического оборудования и консольного раскрепления шевров на фундаменте.

Таблица 1. Рассмотренные возможные технологические схемы монтажа силоса диаметром 22,15 м по методу подрачивания

Table 1. Considered possible technological installations of the silo diameter of 22.15 m by the method of rearing

| Технологическая схема  | Суть способа и условные обозначения   | Средняя стоимость комплекта оборудования по вариантам механизации монтажа, тыс. грн.  |
|--|---|---|
|  <p>1</p>   | <p>шевы для подъема закрепляются фермами на фундаменте силосного корпуса: 1-плоский фундамент; 2-наклонный шевр; 3-подъемный полиспаг; 4 -лебедка; 5- крюк; 6-стальная петля; 7-поверхность силоса; 8-горизонтальный анкер; 9-прокатный швеллер; 10- ферма; 11-подкос; 12-блок</p>        | <p>Тали ручные цепные — 73,5</p> <p>Тали ручные рычажные — 162,5</p> <p>Тали электрические — 703,1</p> <p>Лебедки канатные электрические — 1930,3</p> |
|  <p>2</p> | <p>шевы для подъема удерживаются специальными якорными устройствами за пределами фундамента</p>   | <p>Лебедки канатные ручные — 146,5</p>  |
|  <p>3</p> | <p>подъем гидравлическими домкратами с системой трубопроводов от общей маслостанции: 1-свайный фундамент Н&gt;2м; 2-ростверк; 3-подъемный домкрат; 4-металлическая петля; 5-поверхность силоса; 6-горизонтальный анкер; 7-прокатный швелер; 8- ферма; 9-рабочий настил; 10-ограждение</p> | <p>1334,0</p>   |

Совсем другая разница в показателях трудоемкости и почти напрямую связанной с ней продолжительности работ. Наименьшая трудоемкость и продолжительность будет при монтажных работах, выполняемых при помощи

системы подъема на основе гидравлических домкратов (трудоемкость почти на 30 % меньше

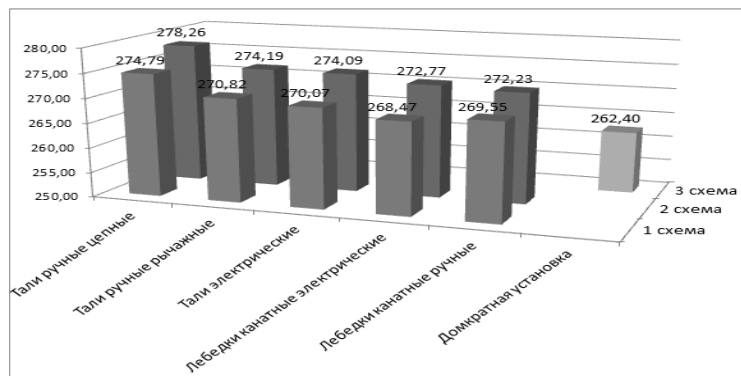
всех остальных вариантов, а продолжительность монтажа сокращается на 40 %).

Существенно экономичнее по трудозатратам в большинстве случаев оказался предложенный

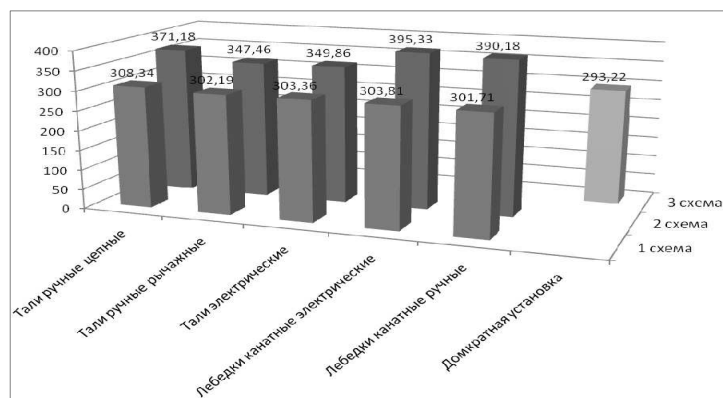
нами первый способ закрепления шевров на фундаменте строящегося силоса (кроме варианта с гидродомкратной установкой) - трудоемкость монтажа по предложенному способу на 12%, а

иногда и на 23% ниже, чем при распространенном предварительном устройстве якорных систем.

а)



б)



в)

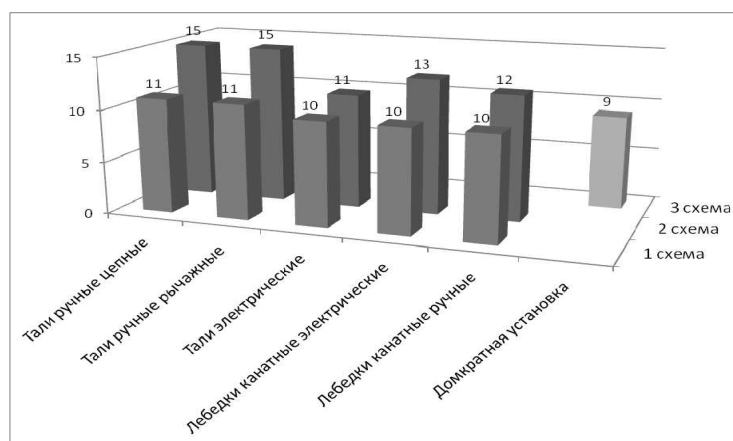


Рис.1. Сравнительные удельная себестоимость (а), трудоемкость (б) и продолжительность (в) монтажа силоса диаметром 22,15м по рассмотренным возможным вариантам технологии и механизации работ

Fig.1. Comparative unit cost (a), the complexity (b) and duration (c) mounting diameter of 22,15 m silo by considering options of technology and mechanization of work

Несмотря на такие наши результаты распространение в Украине получила вычислительных экспериментов, наибольшее технологическая схема с применением ручных



цепных талей. Это можно объяснить прежде всего тем, что первоначальные инвестиции в приобретение комплекта этого оборудования в среднем от двух (для тоже ручных, но рычажных талей и лебедок) до десяти (тали электрические), и даже двадцати (гидравлическая система и лебедки с электроприводом), раз меньше. Подрядной организации, в существующей социально-экономической ситуации, слишком рискованно дополнительно вложить еще в среднем 1,5 млн. грн. для покупки более прогрессивного, по показателю трудозатрат рабочих, оборудования. Ведь себестоимость работ при этом существенно не уменьшится. А тяжесть труда рабочих-монтажников до сих пор никак не учитывалась. Да и их зарплата в

себестоимости не имеет решающего значения и напрямую не учитывает тяжесть технологического процесса.

Поэтому нами была проведена серия экспериментально-теоретических исследований для устранения такой технической, а главное, социальной, несправедливости. Проведены исследования и установлены количественные закономерности возрастания усилий, прикладываемых рабочим на приводную цепь тали, по мере увеличения высоты поднимаемой части силосного корпуса (Рис. 2). Пропорционально увеличению усилия возрастает и затрачиваемая каждым рабочим энергия при подъеме каждого последующего монтажного яруса (Рис. 3).

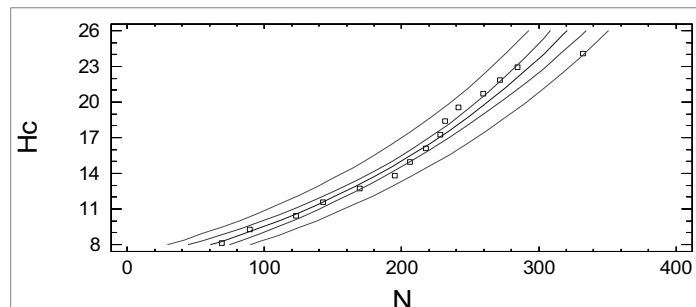


Рис.2. Экспоненциальная зависимость прикладываемых усилий  $N$  (Н) от высоты поднимаемой части силоса  $H_c$  (м)

Fig.2. The exponential dependence of effort  $N$  (N) the height of the lifting of the silo  $H_c$  (m)

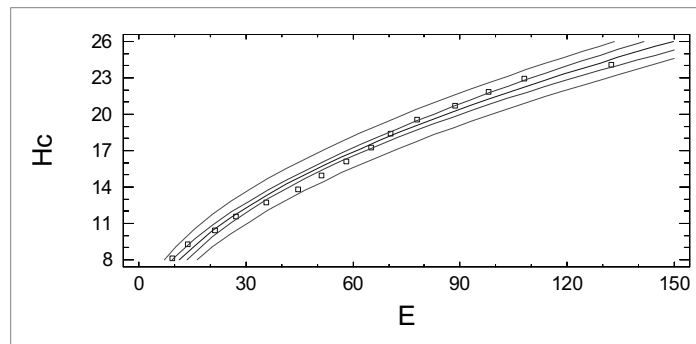


Рис.3. Возрастание энергетических затрат монтажника  $E$  (кДж) с увеличением высоты поднимаемой части силоса  $H_c$  (м)

Fig.3. The increase in energy costs installer  $E$  (kJ) with increasing height lifted part of the silo  $H_c$  (m)

Имея в виду полученные статистические закономерности возрастания усилий и энергозатрат рабочих на подъем с увеличением высоты поднимаемой части (монтажного яруса) силосного корпуса диаметром 22,15м, мы рассмотрели номенклатуру других типоразмеров поставляемых в Украину конструкций аналогичных силосных корпусов. Зная их поярусную массу, диаметр и число грузоподъемных механизмов, для анализа был

принят такой обобщающий технический параметр как площадь сектора, приходящаяся на один грузоподъемный механизм (шевр с талей). Обработкой полученной информации установлена зависимость увеличения поминутных энергозатрат рабочих ( $У_x$ , ккал/мин.) от указанной площади ( $X_6$ ,  $m^2$ ) и номера монтажного яруса ( $X_1$ ), Рис.4.

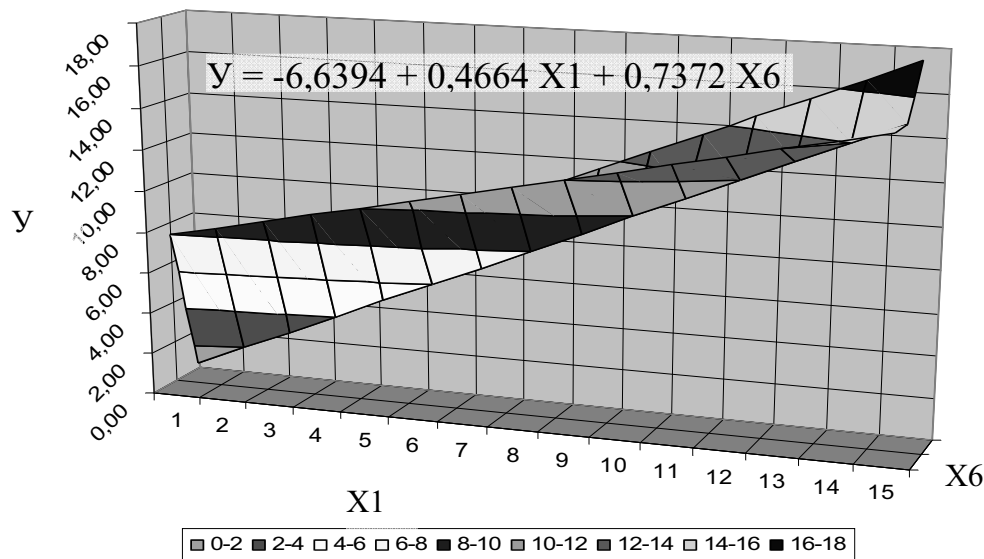


Рис. 4. Графическое отображение взаимосвязи усредненных энергетических затрат монтажников на подъем силоса от количества смонтированных ярусов и площади его сектора, приходящегося на один грузоподъемный механизм

Fig.4. Graphical display of the relationship of average energy consumption of installers to lift the silo on the number of the mounted tiers and the area of its sector, falling on a lifting device

Кроме энергозатрат монтажников на собственно подъем каждого яруса, в технологическом цикле подготовки к каждому подъему присутствуют подготовительные работы, обычно выполняемые теми же работниками. Чтобы определить и эту составляющую суммарных энергетических затрат рабочих, их рассчитывали по известным таблицам проф. Лемана (потребление калорий за минуту выполнения наиболее характерных производственных и бытовых работ [11]), а также собственным данным хронометражных наблюдений продолжительности технологических операций сборки силоса и других подготовительно-заключительных работ.

В результате, получены усредненные поминутные, часовые и сменные энергозатраты труда рабочих-монтажников стального силосного корпуса диаметром 22,15м, осуществляющих монтаж при помощи ручных цепных талей (табл. 2). Сравнение этих данных с нормируемыми для разной степени тяжести работ [4, табл. 4.11.7] по физической динамической нагрузке, подтверждает выдвинутое предположение о качественном изменении тяжести труда при подъеме, а потом, и сборке нижних ярусов силосного корпуса. Работы из 1 (оптимального по рекомендациям Минздрава Украины) класса с легкой физической нагрузкой при сборке и монтаже кровли и верхних ярусов, переходят во 2 (допустимый) класс со средней нагрузкой, а затем — в 3 (вредный) класс тяжелого физического труда степени 3.1 и даже 3.2 при монтаже самых нижних ярусов стального силоса.

Таким образом, экономичные по показателям себестоимости и продолжительности монтажные процессы по возведению стальных силосов при

помощи относительно простых и не дорогих монтажных механизмов, оказались не допустимо энергоемкими по затратам физического труда обслуживающих их работников. Согласиться с возможностью использования такого оборудования можно только в нынешней, непростой социально-экономической ситуации. Нельзя называть безусловно эффективной и перспективной технологию, использующую тяжелый физический труд наемных рабочих.

Зная полученный негативный результат, появляется возможность организационными и экономическими методами управлять ситуацией следующими путями:

- ▲ отказ от ручных механизмов в пользу электрических и гидравлических;
- ▲ увеличение количества этих механизмов чтобы уменьшились усилия, приходящиеся на одного работника при подъеме;
- ▲ уменьшение или ограничение высоты проектируемого сооружения с той же целью;
- ▲ сокращение продолжительности рабочей смены в соответствии с законодательством о тяжелых и вредных условиях труда;
- ▲ равномерное распределение монтажных работ с учетом их тяжести (ограничение числа подъемов в рабочую смену);
- ▲ социально-экономическое стимулирование для уменьшения негативных последствий тяжелого физического труда (соответствующая зарплата, дополнительный отпуск, медицинское обслуживание, льготные пенсии и т. п.).

Таблица 2. Возрастание энергозатрат монтажников и тяжести их труда по мере увеличения высоты подращиваемого стального силоса диаметром 22,15м

Table 2. The increase in energy installers and the severity of their labor with increasing height were grown steel silo with a diameter of 22,15 m

| № монтажного яруса | Суммарные энергетические затраты на подъем стального силоса, кгс м | Пиковые энергозатраты на 1 рабочего при подъеме, ккал/мин | Оценка тяжести труда |                 |
|--------------------|--|---|----------------------|-----------------|
|                    |  |   | Класс вредности      | Степень тяжести |
| 1                  | 1063,97  | 2,49  | оптимальный          | 1               |
| 2                  | 1384,69  | 3,24  | оптимальный          | 1               |
| 3                  | 1910,59  | 4,47  | допустимый           | 2               |
| 4                  | 2208,50  | 5,17  | допустимый           | 2               |
| 5                  | 2626,49  | 6,15  | вредный              | 3.1             |
| 6                  | 3026,24  | 7,09  | вредный              | 3.1             |
| 7                  | 3194,96  | 7,48  | вредный              | 3.1             |
| 8                  | 3374,32  | 7,90  | вредный              | 3.1             |
| 9                  | 3533,91  | 8,27  | вредный              | 3.2             |
| 10                 | 3588,63  | 8,40  | вредный              | 3.2             |
| 11                 | 3739,11  | 8,75  | вредный              | 3.2             |
| 12                 | 4020,30  | 9,41  | вредный              | 3.2             |
| 13                 | 4210,29  | 9,86  | вредный              | 3.2             |
| 14                 | 4407,89  | 10,32   | вредный              | 3.2             |
| 15                 | 5151,15  | 12,06   | вредный              | 3.2             |

Мы предполагаем в дальнейшем как продолжение исследований для уточнения закономерностей изменения комплексных затрат энергии на монтаже силосов, других строительно-монтажных процессах, так и разработку соответствующего методического обеспечения для проектирования энергоэффективной технологии и организации современных строительно-монтажных

работ. Не только монтажных, но и других, прежде всего железобетонных, включая сборку и разборку опалубки, армирование, бетонирование, а также уход за бетоном, в том числе и при отрицательных температурах, при комплексном воздействии электропрогрева и химдобавок в бетонную смесь.

## ВЫВОДЫ

- Путем вычислительных экспериментов и вариантного проектирования строительно-монтажных процессов по возведению стальных силосов методом подращивания установлены сравнительные технико-экономические показатели этих процессов при использовании серийно производимых ручных, электрических и гидравлических механизмов для монтажа.
- Показано, что рассмотренные показатели мало улучшаются при отказе от ручного труда и переходе к комплексной механизации исследованного процесса. А необходимые инвестиции при этом возрастают в два — десять и более раз. Что и объясняет до сих пор повсеместное распространение в Украине именно монтажа при помощи ручных цепных либо рычажных талей.
- Для этого процесса установлены экспериментальные зависимости возрастания прикладываемых усилий, затрачиваемой энергии на подъем по мере увеличения высоты смонтированной части силоса.
- С учетом установленных закономерностей возрастания усилий и затрат энергии рабочими произведена оценка степени тяжести выполняемых работ с установлением категории по тяжести и напряженности труда строительных рабочих-монтажников.
- Отмечены возможные направления совершенствования технологии и организации работ, показано целесообразность учета и энергетических затрат работников при оценке эффективности строительно-монтажных процессов с созданием в будущем соответствующего методического обеспечения для такой оценки.

## ЛИТЕРАТУРА

- Андренко П., Свиначенко М., 2010: Надежность гидравлических гасителей пульсаций и их экономическая оценка //MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. - Vol. 12C, Lublin: 43 – 53.
- Бабицкий Л., Кувшинов А., 2010. Исследование деформационных показателей почвы в процессе ее механической обработки //MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. - Vol. 12D, Lublin: 240 – 244.
- Гаврилов А. 2010: Усовершенствование процесса разделения сельскохозяйственной

- продукции //MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. - Vol. 12D, Lublin: 211 – 215.
4. ГН 3.3.5-8-6.6.1 2002. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу. - Київ:
  5. ДБН Д.1.1-1-2000. Правила определения стоимости строительства, – К. : Госстрой Украины: 162.
  6. Догода П., 2010. Проблемы комплексной механизации возделывания и уборки винограда //MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. - Vol. 12D, Lublin: 227 – 231.
  7. Кислица Л. В., 2009. Будівництво зернопереробних підприємств. Існуючі методи, доцільність і шляхи вдосконалення методу підрошування сталевих силосів //Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – № 6-7. – 25-29.
  8. Кобець А., Нагієва Н. 2011. Дослідження впливу параметрів роторних робочих органів на якісні показники роботи розкидачів мінеральних добрив //MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. - Vol. 13C, Lublin: 159 – 164.
  9. Корохов В., Бутова І., Лавринев П. 2009. Технология и оборудование для изготовления теплоизоляционных материалов из отходов виноградной лозы //MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. - Vol. 11B, Lublin: 85 – 93.
  10. Корохов В., Бутова І., 2010. Особенности конструкций и расчет мощности энергосберегающих дробилок для минерального органического сырья //MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. - Vol. 12D, Lublin: 86 – 94.
  11. Леман Гунтер, 1967: Практическая физиология труда. - М.: Медицина: 336.
  12. Методика определения стоимости эксплуатации собственных строительных машин и механизмов строительных организаций при составлении договорной цены и проведении взаиморасчетов за объемы выполненных работ, 2006. //Ценообразование в строительстве. №1: 296-320.
  13. Руководство по проектированию высокопроизводительных трудовых процессов строительного производства. 1978. Вып.1. Основные положения /Всесоюз. научн. – исслед. и проектный институт труда в строительстве Госстроя СССР. – М.: Строиздат, – 32.
  14. Рутенко В., Степанов А., Степанова Е., 2010. К задаче оптимизации параметров и режимов работы агрегатов для уборки овощей с учетом триботехнических особенностей процессов //MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. - Vol. 12D, Lublin: 216 – 221.
  15. Сукач М., Новіков Р., 2011. Опір піщаного ґрунту при щільному різанні широким ножом //MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. - Vol. 13C, Lublin: 183 – 189.
  16. Сукач М., Хоменко М., Литвиненко І., 2009. Оптимізація собівартості застосування машин для будівництва промислових об'єктів //MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. - Vol. 11B, Lublin: 190 – 195.
  17. Сукач М., Чередник В., 2010. Гидравлический расчет эрлифтной установки //MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. - Vol. 12D, Lublin: 117 – 122.
  18. Чередниченко І., 2009. Эффективность работы пневмотранспортирующих машин при вибрационном воздействии на аэроднище смесительных камер //MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. - Vol. 11B, Lublin: 156 – 163.
  19. Шаленный В. 2012. Дослідження енергетичних витрат монтажників при поетапному підрошуванні сталевих силосів у взаємозв'язку з розмірами частини, яку підіймають /В. Шаленный, П. Несевря, Л. Кислица, О. Біцоева, О. Кузьменко // Theoretical Foundations of Civil Engineering. — Vol. 20. Warsaw: 493—500.
  20. Rutenko V., Stepanova E., 2009: The reduction energy intensity of cultivation by tribotechnical method //MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. - Vol. 11A, Lublin: 77 – 81.
  21. Yakovenko A., 2010: Effect of increasing rate of movement in the value of losses power used in rolling resistance agriculture with mounted-toll //MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. - Vol. 12C, Lublin: 26 – 32.

#### TENSION AND SEVERITY OF LABOUR AS COMPONENTS OF ENERGY EFFICIENCY CONSTRUCTION AND INSTALLATION PROCESS

**Summary.** Study of technical and economic possibilities of mechanization installation process for the construction of steel silos of galvanized steel by rearing revealed a more efficient scheme. For these schemes investigated as severity and intensity of workers. That allowed us to estimate the severity and category of labor as one of the energy efficiency of the technical process considered.

**Keywords:** installation, performance indicators, the severity of the workers

## SIMPLIFIED CALCULATION OF LINES FOR HYDRAULIC DRIVE CONSIDERING THE CHANGE TEMPERATURE OF FLUID

Alyona Murashchenko, Oleg Yakhno, Aleksandr Gubarev

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"  
 Address: 03056, Ukraine, Kiev, Prospect, 37:  
 e-mail: [a\\_kirya@i.ua](mailto:a_kirya@i.ua)

**Abstract.** The features of stabilization of fluid velocity in pipings are observed in the article. We propose a practical method of the calculation. Proposed method of modeling for calculation of the transient time with the receipt of the fluid flow in a large temperature difference between the fluid and the environment temperature.

**Keywords:** the piping, hydraulic calculation, a temperature, a viscosity, flow velocity

## INTRODUCTION

Hydraulic drives, which work in a broad temperature range should have heat insulation to avoid any additional energy losses. It is associated with the temperature of the working fluid.

In operation such situations arise when the hydraulic units and part of the piping is not quite insulated from the thermal influence of the environment, which is especially important for mobile and aircraft drives. There are questions about operate time and operability of such units. Proposed the method for simplified calculating the hydraulic lines with the considering changes hydraulic temperature fluid.

The method for calculation is based on the general theoretical functions of the velocities of the working fluid from the fluid temperature.

## BASIC MATERIALS

Important step for preliminary hydraulic calculation units is to decision the values of the temperature of the working fluid at the time of start of system. For subsequent investigations of multi-mode drives, their design and operating parameters were studied. The piping is taken as an object of investigation; it corresponds to conduits of hydraulic drive. The temperature of piping is temperature of environment ( $T_{env}, ^\circ\text{C}$ ). Temperature fluid input in piping is equal to a temperature of the working fluid in the hydraulic system ( $T_{w.f.}, ^\circ\text{C}$ ). Pressure drop along the piping is fixed for the let down working fluid.

Feature of this case is to calculate the change of kinematic viscosity along the piping in several times. Decisional of the temperature distribution in the time and on the piping length, as well as finding of the values of the fluid velocity in terms of viscosity change are an essential components of the investigation. This is a necessary condition for the simulation of the process that gives an approximate calculation of the hydraulic drive performance under these conditions. Used a method that takes into account the different values of

the temperature of the working fluid in distributed into elementary parts piping length.

The working fluid velocity calculated for a given pressure drop in hydraulic calculation of hydraulic conduits hydraulic drive, in many studies. For this purpose, the known formulas for finding the pressure drop [1, 12, 15], both laminar and turbulent flow, are known:

$$p_{in} - p_{out} = \Delta p = \alpha \cdot \frac{l \cdot \rho}{2 \cdot d} \cdot U^2,$$

wherein  $\alpha$  – the coefficient of friction, which is decision fluid flow. For circular cross parts is decisional by the formulas:

– for laminar flow:

$$\alpha_{lam} = \frac{64}{\text{Re}} = \frac{64 \cdot \nu}{U \cdot d};$$

– for turbulent flow:

$$\alpha_{turb.} = 0,3164 \cdot \text{Re}^{-0,25} = 0,3164 \cdot \left( \frac{U \cdot d}{\nu} \right)^{-0,25},$$

wherein the coefficient of kinematic viscosity  $\nu$ , which is a part of formula, is a function of working fluid temperature working fluid  $\nu = f(T)$  [4, 10, 12].

The next step is to solve the problem of finding the temperature at some moment of time and in a certain parts of the piping. For simplified variant of decisional the temperature change  $\Delta T$  is based on calculation of heat flux through the wall surface of the piping per unit of time should be determined. Simplified one is defined as:

$$q = -\lambda_{w.f.} \left( \frac{\partial \theta}{\partial x} \right)_V,$$

wherein  $\lambda_{w.f.}$  – coefficient of transcalency,

$$\lambda_{w.f.} = f(T) [2, 3, 10, 11].$$

The authors were considered proposals to decision the temperature in certain parts of the piping with the different dependencies [10,11].

For the proposed study were used formulas for define the temperature in the center of a cylindrical tube [3, 10, 12] with a known radius  $r$  and length  $l$ , viz.:

$$T_i = T_{w.f.} + \Delta T,$$

wherein  $\Delta T = \frac{q \cdot t}{c_p \cdot r \cdot \rho}$  [10, 11, 6].

Ingersoll L.R. and his co-authors proposed to decision the desired temperature using the following relationship [10]:

$$\frac{T - T_{env}}{T_{w.f.} - T_{env}} = S \left( \frac{a \cdot t}{l^2} \right) \cdot C \left( \frac{a \cdot t}{r^2} \right),$$

wherein  $T$  – temperature which is determined,  $T_{env}$  – environment temperature (walls),  $T_{w.f.}$  – temperature of the fluid, which defines at the inlet,  $S$  – instant source of capacity (ratio of the amount of heat to the product of specific heat (ref. data) by density of the substance (ref. data):

$$S = \frac{Q}{c \cdot \rho},$$

wherein  $Q = \lambda \cdot \frac{T_{env} - T_{w.f.}}{r} \cdot F \cdot t$  or

$$Q = \alpha \cdot (T_{env} - T_{w.f.}) \cdot F;$$

$a$  – thermal (heat) diffusivity ( $a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}$ );

$\lambda$  – coefficient of transclency (ref. data).

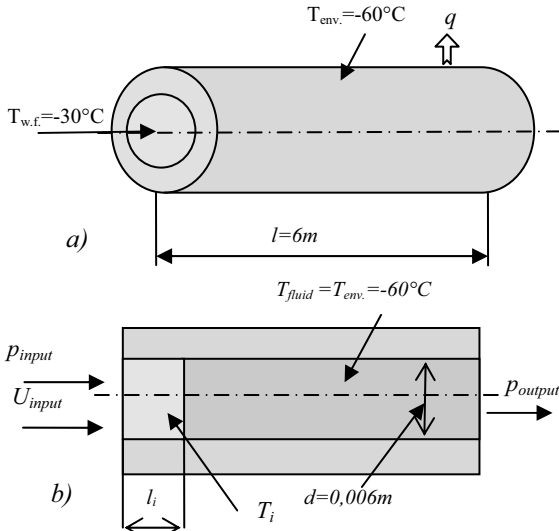


Fig. 1. – Inlet fluid flow in the chilled piping

As an example, were reviewed terms of the similarity process heat transferred on the inner surface of a smooth surface piping with a length  $l$  (m) and diameter  $d$  (m) (Fig.1. a), b)). The piping is a long time under the influence of external environment, fully cooled, i.e. the temperature fluid in the conduit has a value  $T_{w.f.} = T_{env} = -60^\circ\text{C}$ . At some parts of time the flow of the working fluid is supplied by the pressure drop  $\Delta p$  (Pa).

The temperature of pumping fluid  $T_{w.f.} = -30^\circ\text{C}$ . In piping is constant temperature from the environment,

$T_{env} = -60^\circ\text{C}$ . Hydraulic oil AMG-10 is taken as a working fluid, is used in a broad temperature range (to  $-60^\circ\text{C}$  from  $+55^\circ\text{C}$ ) [4].

At the given stage for the simplification of the calculation the density of the working fluid  $\rho$  confirmed, as  $\rho = \text{const}$ .

The calculation of the fluid velocity as a function of the viscosity of the working fluid in all parts of the piping based on:

$$U_i \Rightarrow \Delta p = \alpha_{lam1} \frac{l_1}{d} \cdot \frac{\rho \cdot U_i^2}{2} + (l - l_1) \cdot \frac{\alpha_{lam0}}{d} \cdot \frac{\rho \cdot U_i^2}{2} = U_i \cdot \frac{32}{d^2} \cdot \rho \sum_i^{i+1} (v_i \cdot l_i),$$

$$U_i = \frac{\Delta p \cdot d^2}{32 \cdot \rho \left( \sum_i^{i+1} (v_i \cdot l_i) + v_0 \cdot l_0 \right)}. \quad (1)$$

The pressure drops over the length of  $l$  for the piping is defined by the formula:

$$\Delta p = \frac{1}{d} \cdot \frac{\rho \cdot U^2}{2} \int_0^l v(l) dl.$$

The temperature for the  $i$ -th part  $l_i$  for the considered case is defined by the formula:

$$T_i = \frac{\lambda^3 \cdot t^3 \cdot 2\pi \cdot (l_i + r) \cdot (T_{env} - T_{w.f.}) \cdot (T_{inv} - T_{w.f.}) + T_{env}}{r^2 \cdot l_i^2 \cdot c \cdot \rho \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{c \cdot \rho}} \cdot \pi} \quad (2)$$

In further calculations, the coefficient of viscosity as a function of temperature is defined by the approximate experimental graphics (Fig.2).

Changing of the viscosity of the fluid greatly affects the performance of the hydraulic system. For example, for the oil AMG-10 at low temperatures the normal range of an operation corresponds the zone **I**, permitted work done by – **II**, critical work – **III** (Fig.2.) [4].

The basis of the calculation methodology consists of parts-supply of the fluid. The displacement process of chilled fluid to less cold fluid.

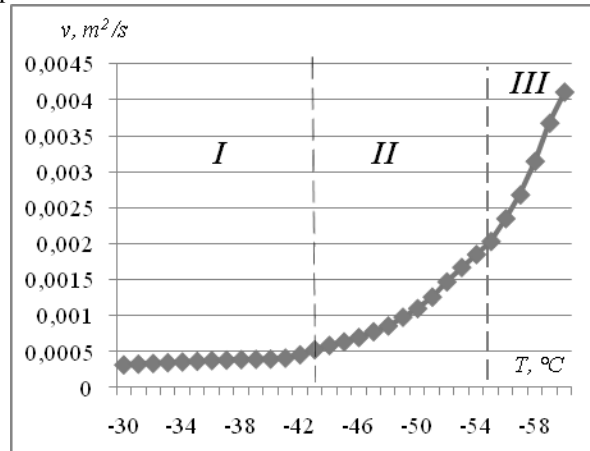


Fig. 2 – The temperature dependence of fluid viscosity of the AMG-10

Having defined the temperature of the working fluid for the function (2), has the function of the viscosity of the working fluid along the length of the piping with a batch of chilled fluid replacement. When you first traverse a part of fluid with temperature  $-30^{\circ}\text{C}$  to the piping, it goes to the area  $l_i$ , and chilled to  $-34^{\circ}\text{C}$ . The chilling part of the piping, i.e.  $l-l_i$ , at a temperature  $-60^{\circ}\text{C}$ . As a result, obtain different values of viscosity corresponding to the temperature of fluid in different parts of the piping. As an example, the length 6 meters of piping is divided to 20 equal parts, which parts displacement fluid. Dependence 1 (Fig. 3) – is supply of fluid to the first five parts, the viscosity changes in range from  $\nu_{-30} = 0,00032 \text{ (m}^2/\text{s)}$  to  $\nu_{-48} = 0,0025 \text{ (m}^2/\text{s)}$ , fluid on the remaining fifteen parts of the piping has a viscosity  $\nu_{-60} = 0,004 \text{ (m}^2/\text{s)}$ . Dependence 2 – is supply of fluid to the first ten parts, the viscosity changes in the range from  $\nu_{-30} = 0,00032 \text{ (m}^2/\text{s)}$  to  $\nu_{-55} = 0,0036 \text{ (m}^2/\text{s)}$ . Fluid on the remaining tenth parts of the piping has a viscosity  $\nu_{-60} = 0,004 \text{ (m}^2/\text{s)}$ , dependence 3 – is third, respectively, on the supply of fifteen parts. Supply of fluid on the twenty parts of the piping, with a full displacement of fluid with a viscosity  $\nu_{-60} = 0,004 \text{ (m}^2/\text{s)}$  – dependence 4 (Fig. 3).

Dependences (Fig. 3) approximately describes the process of the viscosity stabilizing along the piping at a constant environment temperature of the piping and constant pressure drop.

Further, the hydraulic model is conventionally divided into several are parts. The piping with length  $l=6 \text{ (m)}$ , for the phase displacement of fluid is divided into 20 parts with length  $l_i=0,3 \text{ (m)}$ .

Table 1. The value of the temperature and velocity along a hydraulic model of the piping

| Time for a full displacement of the chilled fluid $t=84,65 \text{ s}$ |                       |                  | Time of fluid displacement $t=77,60 \text{ s}$ , for the second run |                  | Time of fluid displacement $t=77,35 \text{ s}$ , for the third run |                  |
|---|-----------------------|------------------|---|------------------|--|------------------|
| $l, \text{ m}$  | $T, ^{\circ}\text{C}$ | $U, \text{ m/s}$ | $T, ^{\circ}\text{C}$   | $U, \text{ m/s}$ | $T, ^{\circ}\text{C}$  | $U, \text{ m/s}$ |
| 0,3   | -34,9612              | 0,02076          | -34,9149  | 0,02562          | -34,913  | 0,02584          |
| 0,6   | -39,1949              | 0,02142          | -39,1063  | 0,02566          | -39,1028   | 0,02584          |
| 0,9   | -42,7831              | 0,02199          | -42,6573  | 0,02569          | -42,6524   | 0,02584          |
| 1,2   | -45,8055              | 0,02249          | -45,6479  | 0,02571          | -45,642  | 0,02584          |
| 1,5   | -48,3374              | 0,02292          | -48,1537  | 0,02573          | -48,1469   | 0,02584          |
| 1,8   | -50,4481              | 0,02329          | -50,2439  | 0,02575          | -50,2364   | 0,02584          |
| 2,1   | -52,2001              | 0,02361          | -51,9805  | 0,02577          | -51,9725   | 0,02584          |
| 2,4   | -53,6489              | 0,023901         | -53,4187  | 0,02578          | -53,4104   | 0,02584          |
| 2,7   | -54,8431              | 0,024144         | -54,6064  | 0,02579          | -54,5978   | 0,02584          |
| 3   | -55,8245              | 0,024354         | -55,5848  | 0,02580          | -55,5762   | 0,02584          |
| 3,3   | -56,6289              | 0,024556         | -56,3893  | 0,02581          | -56,3807   | 0,02584          |
| 3,6   | -57,2867              | 0,024734         | -57,0497  | 0,02582          | -57,0411   | 0,02584          |
| 3,9   | -57,8235              | 0,024891         | -57,591   | 0,02582          | -57,5826   | 0,02584          |
| -   | -                     | -                | -   | -                | -  | -                |
| 6   | -59,5316              | 0,025586         | -59,4252  | 0,02585          | -59,4187   | 0,02807          |

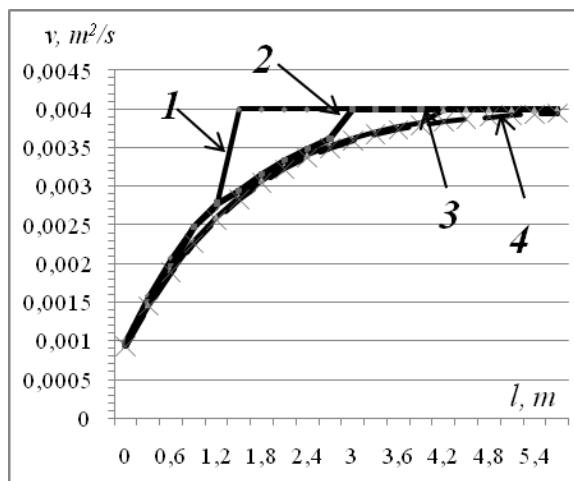


Fig. 3 – Change in viscosity of the fluid along the piping

Having defined the value of the temperature on sought-for part, define the value of viscosity, using the formula (1), identified the new velocity of the working fluid. The results of the calculation of temperature changes  $T_i^{\circ}\text{C}$  and velocity in the  $i$ -th piping part with length  $l = 6 \text{ (m)}$  are summarized in Table 1. In the second step, we calculated the hydraulic model for piping with local resistance, as a sharp expansion (Fig. 4).

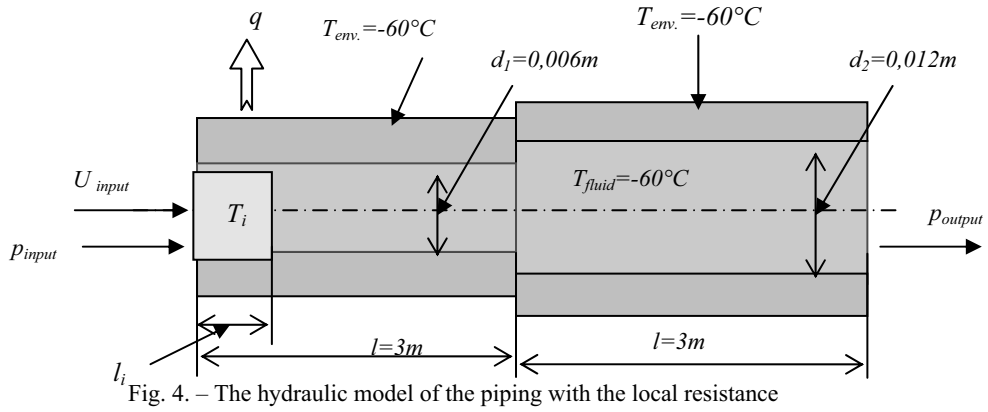


Fig. 4. – The hydraulic model of the piping with the local resistance

Similar to the first case, the velocity of working fluid was calculated for a given pressure drop, taking into account the coefficient of local resistance:

$$p_{in} - p_{out} = \Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_{loc} + \Delta p_2; \quad (3)$$

wherein  $\Delta p_1$  – pressure drop across the part  $l_1$ , and  $\Delta p_2$  pressure drop across the part  $l_2$ ,  $\Delta p_{loc}$  – pressure drop during the expansion. Velocity of working fluid along the piping accepts as the average for each part, i.e.  $U = U_1$ .

Value  $\Delta p_1$ :

$$\Delta p_1 = \alpha_{lam} \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho \cdot U^2}{2} = \alpha_{lam1} \frac{l_1}{d_1} \cdot \frac{\rho \cdot U_1^2}{2} + \sum_0^i (l_1 - l_{1i}) \cdot \frac{\alpha_{lam1i}}{d_1} \cdot \frac{\rho \cdot U_1^2}{2}$$

wherein coefficients  $\alpha_{lam}$  is for the first diameter are:

$$\alpha_{lam1} = \frac{64 \cdot v_1}{U_1 \cdot d_1}, \alpha_{lam1i} = \frac{64 \cdot v_{1i}}{U_1 \cdot d_1}$$

Value  $\Delta p_2$ :

$$\Delta p_2 = \alpha_{lam} \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho \cdot U^2}{2} = \alpha_{lam2} \frac{l_2}{d_2} \cdot \frac{\rho \cdot U_1^2}{2} + \sum_0^i (l_2 - l_{2i}) \cdot \frac{\alpha_{lam2i}}{d_2} \cdot \frac{\rho \cdot U_1^2}{2}$$

wherein coefficients  $\alpha_{lam}$  is for the second diameter:

$$\alpha_{lam2} = \frac{64 \cdot v_2}{U_1 \cdot d_2}, \alpha_{lam2i} = \frac{64 \cdot v_{2i}}{U_1 \cdot d_2}$$

Value  $\Delta p_{loc}$ :

$$\Delta p_{loc} = \xi_{loc1} \cdot \frac{\rho \cdot U_1^2}{2}$$

wherein  $\xi_{loc1}$  – coefficient of local resistance, which for the sharp expansion is defined by the formula:

$$\xi_{loc1} = (1 - n) = (1 - \frac{\omega_1}{\omega_2})$$

wherein  $\frac{\omega_1}{\omega_2}$  sectional area ratio of the transition [4].

Substituting the values in the formula (3), receive

$\Delta p$ :

$$\Delta p = \left( \frac{32 \cdot v_1 \cdot l_1 \cdot \rho \cdot U_1}{d_1^2} + \sum_0^i (l_1 - l_{1i}) \cdot \frac{32 \cdot v_{1i} \cdot \rho \cdot U_1}{d_1^2} \right) + \xi_{loc1} \cdot \frac{\rho \cdot U_1^2}{2} + \left( \frac{32 \cdot v_2 \cdot l_2 \cdot \rho \cdot U_1}{d_2^2} + \sum_0^i (l_2 - l_{2i}) \cdot \frac{32 \cdot v_{2i} \cdot \rho \cdot U_1}{d_2^2} \right) + \xi_{loc1} \cdot \frac{\rho \cdot U_1^2}{2};$$

$$\Delta p = \xi_{loc1} \cdot \frac{\rho \cdot U_1^2}{2} + 32 \cdot \rho \cdot U_1 \cdot \left( \frac{v_1 \cdot l_1 + \sum_0^i (l_1 - l_{1i}) \cdot v_{1i}}{d_1^2} \right) + 32 \cdot \rho \cdot U_1 \cdot \left( \frac{v_2 \cdot l_2 + \sum_0^i (l_2 - l_{2i}) \cdot v_{2i}}{d_2^2} \right)$$



As a result, for the hydraulic calculation for model piping with coefficient of local resistance obtains the calculated flow velocity:

$$U_i \Rightarrow \frac{\xi_{loc1} \cdot \rho}{2} \cdot U^2 + 32 \cdot \rho \cdot \left( \frac{v_1 \cdot l_1 + \sum_0^i (l_1 - l_{1i}) \cdot v_{1i}}{d_1^2} + \frac{v_2 \cdot l_2 + \sum_0^i (l_2 - l_{2i}) \cdot v_{2i}}{d_2^2} \right) \cdot U_1 - \Delta p = 0$$

The velocity of the working fluid for the hydraulic model (Fig. 4.) is defined as:

$$U_{i(1,2)} = \frac{-32 \cdot \rho \cdot \left( \frac{v_1 \cdot l_1 + \sum_0^i (l_1 - l_{1i}) \cdot v_{1i}}{d_1^2} + \frac{v_2 \cdot l_2 + \sum_0^i (l_2 - l_{2i}) \cdot v_{2i}}{d_2^2} \right) \pm \sqrt{\left( 32 \cdot \rho \cdot \left( \frac{v_1 \cdot l_1 + \sum_0^i (l_1 - l_{1i}) \cdot v_{1i}}{d_1^2} + \frac{v_2 \cdot l_2 + \sum_0^i (l_2 - l_{2i}) \cdot v_{2i}}{d_2^2} \right) \right)^2 + 2 \cdot \xi_{loc1} \cdot \rho \cdot \Delta p}}{\xi_{loc1} \cdot \rho}$$

The resulting dependence of the fluid velocity stabilization is shown in Figure 5. Determination of the fluid velocity in the conduit was carried out for a complete displacement of the chilled fluid. Dependences of the stability process of the fluid velocity were the resulting for the two hydraulic models (Fig. 1, fig. 4). The first ousting process along the piping with length  $l = 6$  (m) shown in range **I**. Second and third ousting – respectively **II** and **III**. Stabilization of the fluid velocity in piping of constant diameter describes the dependence **1** (Fig. 5). Dependence **2** describes the fluid velocity in piping with different diameters along its length. Numeral **3** indicates a time when the fluid flow approaches the place of the sudden expansion of the piping. Fluid velocity at this point is reduced due to the chilled of fluid. It increases the time of location of a certain part of fluid in piping (Fig.5).

The process of stabilization of the fluid velocity along the piping, depending on the temperature of the working fluid is decisional by the time of chilled fluid displacement (Fig. 5). On each of three of displacement the difference between of velocities at the beginning and end of the piping is:

- (I)  $\frac{U_{in}(l) - U_{in}(l_0)}{U_{in}(l)} = 2,163 \%$ , for piping **1**, and for piping **2** it is 18,5%;
- (II)  $\frac{U_{in}(l) - U_{in}(l_0)}{U_{in}(l)} = 0,855 \%$ , for piping **1**, and for piping **2** it is 3,187%;
- (III)  $\frac{U_{in}(l) - U_{in}(l_0)}{U_{in}(l)} = 0,028 \%$ , for piping **1**, and for piping **2** it is 2,1228%.

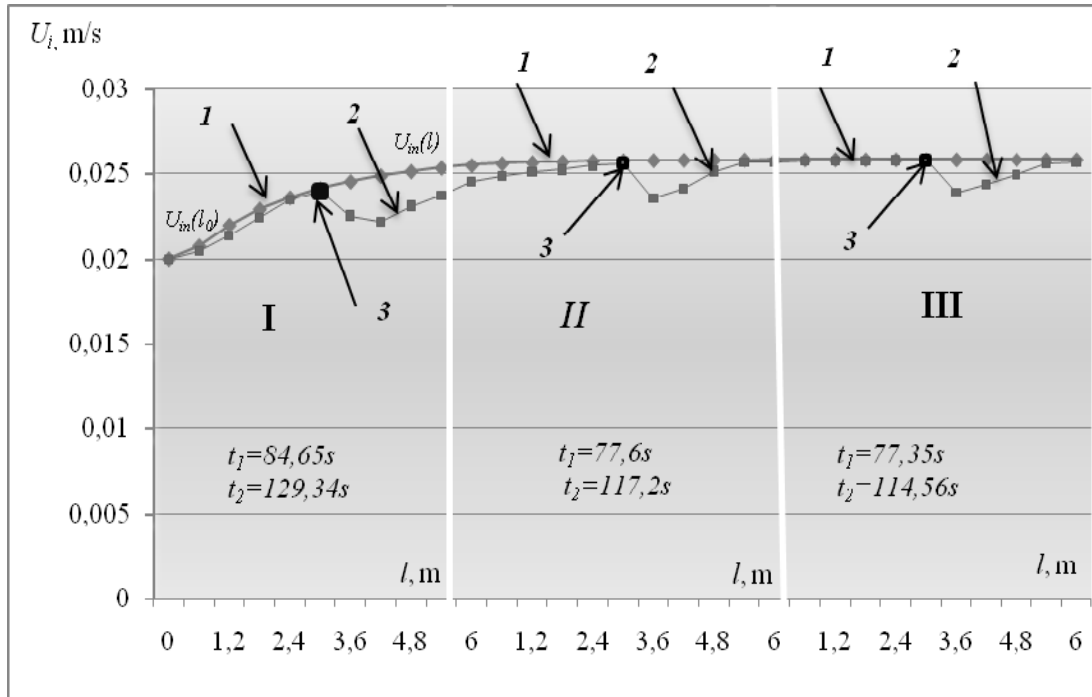


Fig.5. – Graph stabilization depending on the time velocity fluid passing along the piping for a few displacements

In the figure 5 are only three full-displacements, because the difference in time at full displacements in the following will be decrease:

for piping 1:  $\frac{t(l_{II}) - t(l_I)}{t(l_{II})} = 8,3 \%$ ;

$$\frac{t(l_{III}) - t(l_{II})}{t(l_{III})} = 0,32 \%$$

for piping 2:  $\frac{t(l_{II}) - t(l_I)}{t(l_{II})} = 9,38 \%$ ;

$$\frac{t(l_{III}) - t(l_{II})}{t(l_{III})} = 2,252 \%$$

The first full displacement chilled fluid from the piping for the two models of hydraulic are  $t_1$  and  $t_2$ . It follows that the stabilization of the fluid velocity at low temperatures with the local resistance is significantly slower than without. Time to the fluid velocity at a stable velocity for the calculation of hydraulic models proposed piping significantly different. Velocity stabilization time in piping of constant has 25-30% more, than in the piping with different diameters.

**CONCLUSIONS**

This simplified the hydraulic method of calculation of piping lings for actuators during the start of hydraulic units in the low-temperature environment makes it possible to predict the time of the stabilization. The calculation of models the hydraulic piping with a large temperature difference between the working fluid at the beginning and at the end of the piping. It makes possible to describe the function of the viscosity and velocity of the working fluid while it starts working.

The proposed piping’s hydraulic modeling makes it possible to take into account the importance of the effect of varying viscosity and temperature on the velocity of change of the working fluid. And the influence changes in the velocity of the fluid viscosity and temperature. Thus, the proposed method of calculation can decision the time of pre-start warming up fluid in the mobile and aviation hydraulic drives during operation at low temperatures.

**REFERENCES**

1. Kerim Yapici, 2012. Numerical analysis of viscoelastic fluids in steady pressure-driven channel flow / K. Yapici, B. Karasozen, Y. Uludag // J. Fluids Eng. - 134, 051206.
2. Mukesh Awasthi, 2013. Nonlinear analysis of rayleigh–taylor instability of cylindrical flow with heat and mass transfer. – J. Fluids Eng. - 135, 061205.
3. Qing-tang, L., 2009. A coupled thermo-hydraulic model for steam flow in pipe networks / Qing-tang Liu, and oth. // J. of Hydrodynamics, Ser. B, Vol. 21, 861 - 866
4. Oleg Yakhno, 2012. Prediction of effectiveness of the multimode hydrodrive/ O. Yakhno, A. Gubarev, A. Muraschenko// International scientific conference «UNITECH’12». Vol. II. – Gabrovo, Bulgaria, 229 - 235.
5. Wu, B, 2013. Pressure driven steady flow in constricted channels of different cross-section shapes / B. Wu, A. Van Hirtum, X.Y. Luo // Int. J. Appl. Mechanics Vol. 05, No. 01.
6. Y. Yao, 2011. Direct numerical simulation of single and multiple square jets in cross-flow / Y. Yao and M. Maldi // J. Fluids Eng. 133, 031201.
7. Fangwei Xie, 2011. Drive characteristics of viscous oil film considering temperature effect /

Fangwei Xie, Youfu Hou and Ping Yang // J. Fluids Eng. 133, 044502.

8. Hani Sait, 2012. Experimental investigation on freezing of water falling film on vertical bank of cold horizontal tubes / S. Hani, A. Hussain, A. Selim // J. Thermal Sci. Eng. Appl. - 4, 041006.

9. Ким Д., 2006. О тепловом расчете магистральных нефтепроводов / Д. Ким, Ш. Рахматуллин // Нефтяное хозяйство. – N 1, 104-105.

10. Ингерсолл, Л., 1959. Теплопроводность, ее применение в технике и геологии / Л.Р. Ингерсолл и др. – Л.: Ленсовнархоз. – 260.

11. Михеев М., 1977. Основы теплопередачи. / Михеев М., Михеева И. // М.: Энергия. – 344.

12. Петухов Б., 1967. Теплообмен и сопротивление при ламинарном течении жидкости в трубах. – М.: Энергия. – 412.

13. Трофимов В., 2009. Рабочие жидкости систем гидропривода / О. Яхно, А. Губарев, Р. Солонин. – К.: НТУУ «КПИ». – 184.

14. Лебедев, В., 1998. Обеспечение эффективного функционирования гидропривода манипулятора специального назначения в экстремальных условиях: авт. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.03 / В. П. Лебедев. – Красноярск. – 24.

15. Каверзин С., 1998. Обеспечение работоспособности гидравлического привода при низких температурах/ Каверзин С.В., Лебедев В.П., Сорокин Е.А. – Красноярск. – 240.

16. Андренко П., Лебедев А., 2011. Математическая модель стенда для испытаний насосов// MOTROL. - №11В, 204 – 214.

## УПРОЩЕННЫЙ РАСЧЕТ ЛИНИЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ

**Аннотация.** В статье рассмотрены особенности стабилизации скорости потока рабочей жидкости в канале гидропривода и предложена практическая методика выполнения расчета. Предложена методика моделирования для расчета времени переходных процессов, с учетом поступления потока жидкости в условиях большой разницы между температурой жидкости и температурой окружающей среды.

**Ключевые слова:** трубопровод, гидравлический расчет, температура, вязкость, скорость потока

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ОБЪЕКТАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ<br>СИМФЕРОПОЛЬСКОГО ВОДОКАНАЛА   | 03 |
| Сергей Бойчук   |    |
| СНИЖЕНИЕ АГРЕГАТИВНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ КОЛЛОИДНОЙ ПРИМЕСИ<br>ПРИРОДНЫХ ВОД АКТИВИРОВАННЫМ РАСТВОРОМ КОАГУЛЯНТА<br>СУЛЬФАТА АЛЮМИНИЯ             | 11 |
| Степан Эпоян, Станислав Душкин  |    |
| ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ПРОЧНОСТЬ<br>РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ВЯЖУЩИХ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКЕ<br>ВОДОТВЕРДЫХ СУСПЕНЗИЙ            | 17 |
| Михаил Лукьянченко, Арсен Джелял, Александр Струбалин   |    |
| ФОРМИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ<br>ИЗВЕСТКОВО-ИЗВЕСТНЯКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ<br>КАРБОНИЗАЦИОННОГО ТИПА ТВЕРДЕНИЯ            | 23 |
| Николай Любомирский, Александр Бахтин, Арсен Джелял   |    |
| ПРИНЦИПЫ РЕКОНСТРУКЦИИ ОБЪЕКТОВ ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА<br>НА ОСНОВЕ МЕТОДОЛОГИИ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ОСНОВАНИЙ                                 | 31 |
| Дмитрий Прусов, Валерий Бадах.  |    |
| ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ВОЗМОЖНОСТЬ ПОВЫШЕНИЯ<br>ЭФФЕКТИВНОСТИ ДВС  | 35 |
| Геннадий Подзноев, Умер Абдулгазис, Татьяна Жарик   |    |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАПУСКА ГИДРОПРИВОДА С ЧЕТЫРМЯ<br>ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО СОЕДИНЕННЫМИ ГИДРОМОТОРАМИ.   | 41 |
| Николай Иванов, Андрей Гунько   |    |
| ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ С<br>ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ<br>СРЕДЫ В РАЙОНЕ САКСКОГО ОЗЕРА | 47 |
| Чабан Виктор  |    |
| RELIABILITY OF THE FUNCTIONING<br>OF THE WATER SUPPLY AND SEWERAGE SYSTEM   | 53 |
| Enver Saliev  |    |
| АНАЛИЗ НЕУЧТЕННЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ В СИСТЕМЕ<br>ВОДООТВЕДЕНИЯ  | 61 |
| Людмила Зайченко, Вячеслав Лесной, Артур Попов  |    |
| КОНЦЕНТРИРУЮЩИЕ УСТАНОВКИ С ДВУМЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ<br>ОТРАЖАТЕЛЯМИ   | 69 |
| Светлана Воскресенская  |    |
| МЕТОДЫ РАСЧЕТА РАБОЧЕЙ АРМАТУРЫ КОЛОНН ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ<br>КОНСТРУКЦИЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ЦИКЛИЧЕСКОГО<br>НАГРУЖЕНИЯ                      | 77 |
| Геннадий Ажермачев, Эльмар Меннанов, Николай Шевченко   |    |

|   |     |
|---|-----|
| МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГИДРОПРИВОДА БЛОЧНО-ПОРЦИОННОГО ОТДЕЛИТЕЛЯ КОНСЕРВИРОВАННЫХ КОРМОВ  | 83  |
| Николай Иванов, Сергей Шаргородский, Владимир Руткевич  |     |
| ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА УЛЬТРАЗВУКОВОГО РАСПЫЛЕНИЯ В ТОНКОМ СЛОЕ   | 91  |
| Алина Ляшок, Олег Яхно, Александр Луговской   |     |
| ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОДУКТОВ ГАЗИФИКАЦИИ СОЛОМЫ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ СУШКИ ЗЕРНОВЫХ   | 99  |
| Савелий Кухарец, Владислав Шубенко, Анна Голубенко, Наталия Цивенкова   |     |
| ВЛИЯНИЕ МЕХАНОАКТИВАЦИИ И ДОБАВКИ МИКРОКРЕМНЕЗЕМА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПРЕССОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ГРАНОДИОРИТОВЫХ ШЛАМОВ ШАРХИНСКОГО КАРЬЕРА                                   | 107 |
| Ирина Елькина   |     |
| ОЦЕНКА ЖИВУЧЕСТИ ОТДЕЛЬНО СТОЯЩИХ ФУНДАМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССА ИХ РАЗРУШЕНИЯ   | 115 |
| Игорь Дьяков  |     |
| ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА РОТОРНО-ЦЕНТРОБЕЖНОЙ МЕЛЬНИЦЫ ДЛЯ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА  | 123 |
| Давид Райхман, Александр Симонов  |     |
| ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ АВТОМОЕК  | 129 |
| Илья Николенко, Александр Демков, Михаил Мануйлов   |     |
| ОРИЕНТИРОВОЧНЫЕ ПРОГНОЗЫ ХАРАКТЕРИСТИК СКОРОСТИ ВЕТРА В ЕВРОПЕ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЧИВОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕМПЕРАТУР СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРНОГО ПРИЧЕРНОМОРЬЯ | 139 |
| Холопцев Александр, Аксенова Александра   |     |
| ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ СОЛНЕЧНЫХ И ВЕТРОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ   | 145 |
| Эскендер Бекиров, Надежда Фурсенко  |     |
| ПРИМЕНЕНИЕ СОСТАВНЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ БАЛОК В КОНСТРУКЦИЯХ МАЛОЭТАЖНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ДОМОВ  | 151 |
| Лютов Лев   |     |
| НАПРЯЖЕННО ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ОПОРНОЙ СТОЙКИ МОРСКОЙ СТАЛЬНОЙ СТАЦИОНАРНОЙ ПЛАТФОРМЫ В ЗОНЕ КОНТАКТА СО ЛЬДОМ  | 157 |
| Владимир Синцов, Александр Фурсов   |     |

|   |     |
|---|-----|
| НАПРЯЖЕННОСТЬ И ТЯЖЕСТЬ ТРУДА КАК СОСТАВЛЯЮЩИЕ<br>ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ ПРОЦЕССОВ | 165 |
| Василий Шаленный, Лина Кислица  |     |
| SIMPLIFIED CALCULATION OF LINES FOR HYDRAULIC DRIVE<br>CONSIDERING THE CHANGE TEMPERATURE OF FLUID    | 173 |
| Alyona Murashchenko, Oleg Yakhno, Aleksandr Gubarev   |     |

**СПИСОК РЕЦЕНЗЕНТОВ  
LIST OF THE REVIEWERS**

|                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|
| <b>Андренко Павел</b>    | <b>д.т.н., профессор</b> |
| <b>Зайцев Олег</b>       | <b>д.т.н., профессор</b> |
| <b>Морозов Александр</b> | <b>д.т.н., профессор</b> |
| <b>Яковенко Анатолий</b> | <b>д.т.н., профессор</b> |
| <b>Абдулгазис Умер</b>   | <b>д.т.н., профессор</b> |
| <b>Николенко Илья</b>    | <b>д.т.н., профессор</b> |
| <b>Ветрова Наталья</b>   | <b>д.т.н., профессор</b> |
| <b>Сукач Михаил</b>      | <b>д.т.н., профессор</b> |

Editors of the „Motrol” magazine of the Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture would like to inform both the authors and readers that an agreement was signed with the Interdisciplinary Centre for Mathematical and Computational Modelling at the Warsaw University referred to as “ICM”. Therefore, ICM is the owner and operator of the IT system needed to conduct and support a digital scientific library accessible to users via the Internet called the “ICM Internet Platform”, which ensures the safety of development, storage and retrieval of published materials provided to users. ICM is obliged to put all the articles printed in the “Motrol” on the ICM Internet Platform. ICM develops metadata, which are then indexed in the “Agro” database.

Impact factor of the „Motrol” journal according to the Commission of Motorization and Energetics in Agriculture is 3,08

## GUIDELINES FOR AUTHORS (2013)

The journal publishes the original research papers. The papers (min. 8 pages) should not exceed 12 pages including tables and figures. Acceptance of papers for publication is based on two independent reviews commissioned by the Editor.

Authors are asked to transfer to the Publisher the copyright of their articles as well as written permissions for reproduction of figures and tables from unpublished or copyrighted materials.

Articles should be submitted electronically to the Editor and fulfill the following formal requirements:

- Clear and grammatically correct script in English,
- Format of popular Windows text editors (A4 size, 12 points Times New Roman font, single interline, left and right margin of 2,5 cm),
- Every page of the paper including the title page, text, references, tables and figures should be numbered
- SI units should be used

Please organize the script in the following order (without subtitles):

Title, Author(s) name (s), Affiliations, Full postal addresses, Corresponding author's e-mail

Abstract (up to 200 words), Keywords (up to 5 words), Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion (a combined Results and Discussion section can also be appropriate), Conclusions (numbered), References, Tables, Figures and their captions

Note that the following should be observed:

An informative and concise title; Abstract without any undefined abbreviations or unspecified references; No nomenclature (all explanations placed in the text); References cited by the numbered system (max 5 items in one place); Tables and figures (without frames) placed out of the text (after References) and figures additionally prepared in the graphical file format jpg or cdr.

Make sure that the tables do not exceed the printed area of the page. Number them according to their sequence in the text. References to all the tables must be in the text. Do not use vertical lines to separate columns. Capitalize the word 'table' when used with a number, e.g. (Table1).

Number the figures according to their sequence in the text. Identify them at the bottom of line drawings by their number and the name of the author. Special attention should be paid to the lettering of figures – the size of lettering must be big enough to allow reduction (even 10 times). Begin the description of figures with a capital letter and observe the following order, e.g. Time(s), Moisture (% vol), (% m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup>) or (% gg<sup>-1</sup>), Thermal conductivity (W m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>).

Type the captions to all figures on a separate sheet at the end of the manuscript.

Give all the explanations in the figure caption. Drawn text in the figures should be kept to a minimum. Capitalize and abbreviate 'figure' when it is used with a number, e.g. (Fig. 1).

Colour figures will not be printed.

Make sure that the reference list contains about 30 items. It should be numbered serially and arranged alphabetically by the name of the first author and then others, e.g.

7. Kasaja O., Azarevich G. and Bannel A.N. 2009. Econometric Analysis of Banking Financial Results in Poland. Journal of Academy of Business and Economics (JABE), Vol. IV. Nr 1, 202–210.

References cited in the text should be given in parentheses and include a number e.g. [7].

Any item in the References list that is not in English, French or German should be marked, e.g. (in Italian), (in Polish).

Leave ample space around equations. Subscripts and superscripts have to be clear. Equations should be numbered serially on the right-hand side in parentheses. Capitalize and abbreviate 'equation' when it is used with a number, e.g. Eq. (1). Spell out when it begins a sentence. Symbols for physical quantities in formulae and in the text must be in italics. Algebraic symbols are printed in upright type.

Acknowledgements will be printed after a written permission is sent (by the regular post, on paper) from persons or heads of institutions mentioned by name.