

## ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ДОБАВОК – ОТХОДОВ ОТ ПРЕДПРИЯТИЙ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО СИНТЕЗА В СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ

**В.Л. Хвастунов<sup>1</sup>, К.Н. Махамбетова<sup>1</sup>, А.А. Орлов<sup>2</sup>, А.В. Хвастунов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза, Россия

<sup>2</sup> Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

<sup>3</sup> ООО «Проектно-конструкторское бюро «Зодчий», г. Пенза, Россия

В статье рассмотрен опыт использования отходов предприятий микробиологического синтеза по производству витаминов, лекарственных препаратов, антибиотиков и других видов продукции для изготовления химических добавок с целью улучшения основных свойств строительных материалов, изделий и конструкций. Установлено, что отработанный нативный раствор олеандомицина (ОНРО) и леворина (ОНРЛ) оказывает значительный пластифицирующий эффект на цементные композиции, увеличивая распыл конуса из цементно-песчаного раствора (Ц : П = 1 : 3) на 25–30 % по сравнению с контрольным, что способствует сокращению расхода воды на 15 %. Предложенные добавки оказывают положительное влияние на пластичность бетонной смеси, эффективность их практически такая же, как и добавки С-3. Уменьшение расхода цемента в жестких бетонных смесях при сохранении постоянного значения водоцементного отношения позволило сэкономить его на 10–12 % без снижения прочности бетона. В керамзитобетонных смесях за счет применения добавки ОНРО в количестве 0,15 % от массы цемента сокращён расход воды на 20 % при одинаковой жесткости по техническому вискозиметру. Это способствовало увеличению прочности керамзитобетона на 22 %, повышению модуля упругости на 13,7 %. При проведении исследований разработаны схемы усреднения отработанных нативных растворов, использование которых позволяет исключить колебания в вещественном составе и повысить коэффициент однородности не менее чем в три раза комбинированных партий раствора по сравнению с отдельными его сливами. На заводе железобетонных изделий с применением предложенных добавок изготовлены плиты перекрытия, бордюры для дорог, сваи и другие изделия с хорошими технико-экономическими и эксплуатационными показателями.

*Ключевые слова:* отходы, суперпластификатор С-3, нативные растворы, олеандомицин, леворин, сульфат натрия, цементно-песчаные растворы, прочность при изгибе и сжатии, бетоны, железобетонные изделия и конструкции.

### Введение

В современных условиях вопросы экологии становятся важнейшими проблемами человечества из-за значительного роста объемов техногенных отходов, производимых различными отраслями производств. Так, производство строительных материалов, изделий и конструкций для различных видов строительства располагает значительным потенциалом по утилизации техногенных отходов. В производстве вяжущих, керамических и теплоизоляционных материалов, бетона и железобетона широко используются шлаки, золы, микрокремнезём, ЛСТ и другие техногенные отходы. Распространен опыт использования отходов химической, нефтехимической, лесоперерабатывающей промышленности при изготовлении химических добавок для нужд строительной индустрии.

На протяжении более четырех десятилетий на отечественных предприятиях применяется специ-

ально синтезированный суперпластификатор С-3 в качестве добавки к бетонным смесям для придания им высокой подвижности, а также повышения прочности и водонепроницаемости бетона за счет сокращения расхода воды (снижения В/Ц) при использовании равноподвижных смесей. Суперпластификатор С-3 представляет собой водный раствор синтетического продукта, содержащего в основном сульфированный нафталиноформальдегидный олигомер и некоторое количество карбоциклического сульфированного продукта. Прimesью является продукт, содержащий сульфат натрия в количестве 10–15 % от массы сухого вещества.

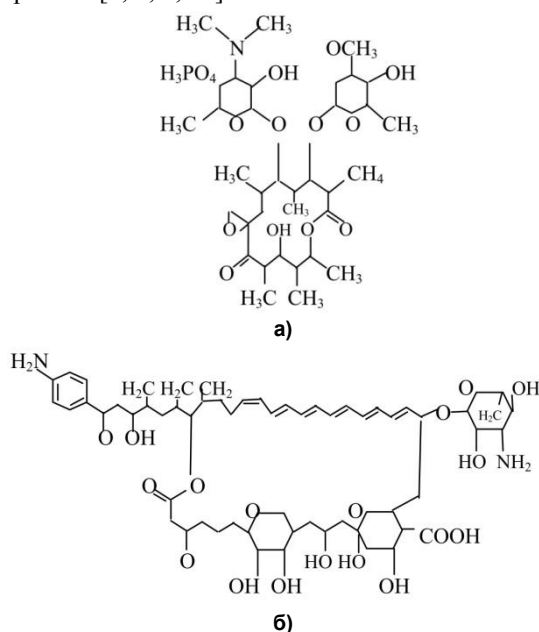
В связи с возрастающей стоимостью суперпластификаторов повышается себестоимость бетонных и железобетонных изделий и конструкций, что снижает их конкурентоспособность. Поэтому поиск альтернативных, эффективных, недорогих

источников модификации бетонных смесей является актуальной проблемой.

Практика показала, что дешевых модификаторов бетонных смесей следует искать в отходах производств различных отраслей промышленности РФ. Особенно велик удельный объем отходов в виде нативных растворов на предприятиях микробиологического синтеза по производству витаминов, лекарственных препаратов, антибиотиков (например, олеандомицина и леворина) и других видов продукции. Значительные объемы отходов существуют как в виде жидких побочных продуктов (нативных растворов), так и твердых в виде мицелиальных масс и электролитов различного состава, например сульфата натрия при производстве витаминов. Известен в основном лабораторный опыт использования нативных растворов и мицелиальных масс в различных областях промышленности и сельского хозяйства [1–29]. Для сбора и захоронения этих отходов тратятся колоссальные средства, и в значительной мере загрязняется окружающая среда. Поэтому организация и утилизация этих отходов на предприятиях строительной индустрии также является актуальной проблемой.

#### Материалы и методы исследования

Состав отработанных широко распространенных нативных растворов, антибиотиков олеандомицина (ОНРО) и леворина (ОНРЛ), достаточно сложен. Антибиотик олеандомицин имеет эмпирическую формулу  $C_{35}P_{61}NO_{12}$  молекулярным весом 687,5. Он относится к классу полиеновых антибиотиков и представляет собой макроциклический полиоксипоксикетолактон, гликозидно связанный с аминсахаром дезозамином и нейтральным сахаром L-олеандрозой. Олеандомицин (а) и леворин (б) имеют следующее структурно-химическое строение [5, 6, 8, 16]:



Нами изучены плотность нативных растворов ОНРО и ОНРЛ, величина рН, поверхностное натяжение, температура кипения и замерзания, концентрация растворенных и взвешенных частиц, сохранность свойств при выпаривании и стабильность физико-химических характеристик и эффективность действия при хранении. Результаты изучения физических свойств добавки представлены в табл. 1.

Добавки ОНРО и ОНРЛ обладают хорошей сохраняемостью во времени, особенно при исключении доступа воздуха. Повторные испытания добавок ОНРО и ОНРЛ через шесть месяцев их хранения показали прежнюю эффективность. Твердая фаза, полученная при мягких режимах выпаривания раствора, обладает такой же эффективностью действия на растворы и бетоны.

Данные по количественному и качественному составу добавки отходов нативного раствора олеандомицина (ОНРО) приведены в табл. 2.

Из анализа структуры основных компонентов ОНРО и ОНРЛ, приведенных на схемах строения антибиотиков олеандомицина и леворина, а также данных, приведенных в табл. 1 и 2, можно сделать вывод о многокомпонентности отходов в виде нативных растворов, так как они представлены неиспользованными водозэкстрактивными питательными веществами кукурузной и соевой муки, бутил-ацетатом, пептидами, протеинами, нуклеиновыми кислотами, углеводами и аминокислотами, предохраняющими пластифицирующий эффект при изготовлении растворных и бетонных смесей. Наличие белков способствует улучшению структуры бетона, а присутствие хлоридов и сульфатов дает возможность ускорить процесс схватывания и твердения цемента. По внешнему виду добавки ОНРО и ОНРЛ представляют собой темно-бурые жидкости с концентрацией твердых веществ 3–5 %, с рН 6,8–7,5, то есть добавки имеют нейтральную, ближе к щелочной, среду, что снижает их коррозионное воздействие на арматуру в бетоне. Значение поверхностного натяжения для добавок меньше, чем для воды, и, следовательно, они являются поверхностно-активными веществами. Многокомпонентный вещественный состав добавок ОНРО и ОНРЛ способствует высокой адсорбирующей способности растворимых веществ добавок к поверхности частиц цемента. Они коренным образом изменяют величину свободной поверхностной энергии на межфазных поверхностях раздела, значение электрокинетического потенциала частиц кремнеземистого компонента и вяжущего, а следовательно, энергетику межчастичного взаимодействия, условия гидролиза и гидратации. Введение отработанных нативных растворов в состав бетонных и растворных смесей одновременно позволяет их пластифицировать, снижая количество воды затворения, что в значительной мере уменьшает энергозатраты на формование и тепловую обработку при экономии вяжущего до 10–12 %. Иногда

Таблица 1

Физические свойства добавки отходов нативных растворов ОНРО и ОНРЛ

| Наименование добавки  | Концентрация твердых веществ, % | Цвет        | Температура кипения, °С | Температура замерзания, °С | Плотность, $\rho$ , г/см <sup>3</sup> | Поверхностное натяжение, $\sigma$ , Н/м <sup>2</sup> ·10 <sup>-3</sup> | Взвешенные вещества, мг/л |
|---|---------------------------------|-------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------------------|--|---------------------------|
| Отходы нативных растворов олеандомицина (ОНРО) и лево-рина (ОНРЛ) | 3,0–3,5                         | темно-бурый | 101,8                   | –2                         | 1,014–1,015                           | 55,0–57,4  | 1500–2000                 |

Таблица 2

Количественный и качественный состав добавки отходов нативного раствора олеандомицина (ОНРО)

| № п/п | Наименование компонентов                    | Содержание, % |
|-------|---|---------------|
| 1     | Бутилацетат                                 | 1,00          |
| 2     | Крахмал                                     | 1,19          |
| 3     | Глюкоза                                     | 0,05          |
| 4     | Олигосахариды                               | 0,11          |
| 5     | Хлориды                                     | 0,17          |
| 6     | Сульфаты                                    | 0,49          |
| 7     | Биологически неактивные формы олеандомицина | 0,11          |
| 8     | Протеины, пептиды и аминокислоты            | 0,27          |
| 9     | Неидентифицированные соединения             | 0,45          |
| 10    | Вода  | 96,15         |

возникает необходимость одновременного ускорения сроков твердения бетона. В этом случае целесообразно смешивать отработанные нативные растворы с известными электролитами-ускорителями твердения, но не специально синтезированными, а полученными как побочный продукт на тех же предприятиях по производству медицинских препаратов.

На начальном этапе исследований изучалось влияние добавки отработанного нативного раствора от производства антибиотика олеандомицина (ОНРО) на пластификацию цементных композиций (цементного теста, цементно-песчаного раствора и бетонных смесей), а также на изменение их прочностных и деформационных характеристик. Для приготовления цементных паст, растворных и бетонных смесей использовали портландцемент М400, известняковый щебень, керамзитовый гравий фракции 5–20 мм и кварцевый песок.

Для сравнения эффективности действия предлагаемой добавки ОНРО выявили оптимальный расход этой добавки, который оказался в пределах 0,15–0,2 % от массы цемента в пересчете на сухое вещество, а также для сравнения применили хорошо изученную и испытанную добавку С-3.

При проведении экспериментов были использованы цементно-песчаные растворы с соотношением Ц:П в пределах от 1:0 до 1:3 с водоцементным отношением (В/Ц) от 0,25 до 0,6; расход цемента в бетонных смесях варьировался в пределах от 290 до 430 кг/м<sup>3</sup>, щебня и керамзита – от 450 до 600 л/м<sup>3</sup>, песка – от 620 до 800 кг/м<sup>3</sup>, водоцементное отношение – от 0,5 до 0,75. Все необходимые параметры цементных композиций определялись

на стандартных образцах по стандартной методике. Режимы твердения были приняты согласно производственным.

### Результаты и обсуждения

Из полученных данных следует, что добавка ОНРО оказывает значительный пластифицирующий эффект на цементные композиции, увеличивая, например, распыл конуса из цементно-песчаного раствора (Ц : П = 1 : 3) на 25–30 % по сравнению с контрольным и тем самым сокращая расход воды на 15 %. Предложенная добавка положительно сказалась на пластичности бетонной смеси, эффективность её практически такая же, как и добавки С-3. Уменьшение расхода цемента в жестких бетонных смесях при сохранении постоянного значения В/Ц позволило сэкономить его на 7–10 % без снижения прочности бетона. В керамзитобетонных смесях за счет применения добавки ОНРО в количестве 0,15 % от массы цемента удалось сократить расход воды на 20 % при одинаковой жесткости по техническому вискозиметру. Это способствовало увеличению прочности керамзитобетона на 22 %, повышению модуля упругости на 13,7 %, повышению уровня параметрических точек  $R_T^0$  и  $R_T^v$  (10–12 %). Наиболее значимые результаты в производственных условиях получены при использовании комплексных добавок на основе ускорителя твердения Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (отхода Щелковского витаминного завода) с добавлением пластификаторов ОНРО и ОНРЛ.

Результаты проведенных экспериментов обрабатывали методами математической статистики. Получили уравнения, выражающие зависимости

прочности бетона при изгибе и сжатии как после ТВО при фиксированном времени изотермической выдержки (5; 7; 8,5; 10 и 11 ч), так и на 28-е сутки твердения при нормальных условиях в зависимости от расхода как индивидуальных добавок, так и комплексных, на основе сульфата натрия и обработанных нативных растворов олеандомицина и леворина. После получения уравнений произвели проверку пригодности уравнений для описания исследуемой зависимости. Данные проверки выполнили по критерию Фишера, для чего опытные значения критерия сравнили с табличными значениями для 5 % уровня значимости. Уравнения признавали пригодными в случае  $F_{\text{эсп.}} < F$ -критерия.

Результаты проведенных исследований и их обработки приведены в табл. 3–6 и отражены на рис. 1–10. Методом математического планирования эксперимента (табл. 3–5) также установлены оптимальные дозировки комплексных добавок (0,4–1,2 % от массы цемента в пересчете на сухое вещество) для производственных составов бетона марок М300–М400.

Анализируя результаты испытаний по влиянию сульфата натрия (отхода от производства витаминов) на физико-механические свойства бетона, приведенные в табл. 3, можно сделать вывод о том, что при расходе добавки 0,8 и 1,2 % от массы цемента при его расходе 320 кг/м<sup>3</sup> прочность

Таблица 3  
Влияние сульфата натрия на прочность бетона при изгибе и сжатии в зависимости от технологических факторов

| № п/п | % добавки по массе<br>$X_1$ | Изотермическая выдержка, ч<br>$X_2$ | Прочность бетона на изгиб и сжатие,<br>$R_{\text{изг}}, R_{\text{сж}}, \text{кгс/см}^2$ |                 |                  |                 |
|-------|-----------------------------|-------------------------------------|---|-----------------|------------------|-----------------|
|       |                             |                                     | после пропаривания  |                 | на 28-е сутки    |                 |
|       |                             |                                     | $R_{\text{изг}}$  | $R_{\text{сж}}$ | $R_{\text{изг}}$ | $R_{\text{сж}}$ |
| 1     | 0                           | 6                                   | 49,9  | 169,3           | 65,1             | 398,4           |
| 2     | 0                           | 8                                   | 58,0  | 224,3           | 68,4             | 421,7           |
| 3     | 0                           | 10                                  | 55,9  | 226,8           | 66,4             | 420,7           |
| 4     | 0                           | 12                                  | 58,5  | 231,1           | 66,3             | 429,7           |
| 5     | 0,4                         | 6                                   | 41,1  | 165,7           | 60,1             | 373,3           |
| 6     | 0,4                         | 8                                   | 47,5  | 205,8           | 67,6             | 390,3           |
| 7     | 0,4                         | 10                                  | 52,6  | 203,8           | 70,7             | 358,7           |
| 8     | 0,4                         | 12                                  | 58,7  | 215,5           | 66,1             | 410,0           |
| 9     | 0,8                         | 6                                   | 46,0  | 225,1           | 59,7             | 398,0           |
| 10    | 0,8                         | 8                                   | 54,5  | 216,8           | 67,8             | 410,3           |
| 11    | 0,8                         | 10                                  | 57,9  | 230,5           | 66,5             | 420,3           |
| 12    | 0,8                         | 12                                  | 61,9  | 287,9           | 68,4             | 445,8           |
| 13    | 1,2                         | 6                                   | 49,6  | 184,8           | 64,1             | 375,7           |
| 14    | 1,2                         | 8                                   | 52,8  | 221,6           | 63,7             | 420,7           |
| 15    | 1,2                         | 10                                  | 49,8  | 269,8           | 67,4             | 407,7           |
| 16    | 1,2                         | 12                                  | 52,4  | 279,5           | 68,5             | 466,0           |

Таблица 4  
Влияние комплексной пластифицирующе-ускоряющей добавки на основе сульфата натрия и нативного раствора олеандомицина на свойства бетона при изгибе и сжатии

| № п/п | Уровни параметров |        |        | Расход добавки, % по массе |           |        | Изотермическая выдержка, ч<br>$X_3$ | Прочность бетона на изгиб и сжатие,<br>$R_{\text{изг}}, R_{\text{сж}}, \text{кгс/см}^2$ |                 |                  |                 |
|-------|-------------------|--------|--------|----------------------------|-----------|--------|-------------------------------------|---|-----------------|------------------|-----------------|
|       | $X_1$             | $X_2$  | $X_3$  | общий %                    |           | ОНРО % |                                     | после пропаривания  |                 | на 28-е сутки    |                 |
|       |                   |        |        | $X_1$                      | $X_1-X_2$ | $X_2$  |                                     | $R_{\text{изг}}$  | $R_{\text{сж}}$ | $R_{\text{изг}}$ | $R_{\text{сж}}$ |
| 1     | -1                | 1      | 1      | 1,2                        | 1,1       | 0,10   | 10                                  | 45,3  | 305             | 55,8             | 435,0           |
| 2     | -1                | 1      | 1      | 0,4                        | 0,36      | 0,04   | 10                                  | 38,5  | 261             | 54,2             | 344,8           |
| 3     | 1                 | -1     | 1      | 1,2                        | 0,72      | 0,48   | 10                                  | 40,4  | 246             | 44,7             | 372,6           |
| 4     | -1                | -1     | 1      | 0,4                        | 0,24      | 0,16   | 10                                  | 44,6  | 324             | 64,6             | 412,3           |
| 5     | 1                 | 1      | -1     | 1,2                        | 1,08      | 0,12   | 7                                   | 44,9  | 274             | 58,8             | 400,3           |
| 6     | -1                | 1      | -1     | 0,4                        | 0,36      | 0,04   | 7                                   | 39,3  | 231             | 55,3             | 388,0           |
| 7     | 1                 | -1     | -1     | 1,2                        | 0,72      | 0,48   | 7                                   | 39,9  | 255             | 52,3             | 415,0           |
| 8     | -1                | -1     | -1     | 0,4                        | 0,24      | 0,16   | 7                                   | 47,5  | 312             | 55,8             | 49,00           |
| 9     | 1,215             | 0      | 0      | 1,6                        | 1,28      | 0,32   | 8,5                                 | 42,9  | 277             | 56,1             | 431,0           |
| 10    | -1,215            | 0      | 0      | 0                          | 0         | 0      | 8,5                                 | 37,6  | 260             | 49,2             | 347,6           |
| 11    | 0                 | 1,215  | 0      | 0,8                        | 0,75      | 0,05   | 8,5                                 | 48,4  | 289             | 58,0             | 490,0           |
| 12    | 0                 | -1,215 | 0      | 0,8                        | 0,75      | 0,05   | 10                                  | 43,2  | 299             | 58,6             | 444,0           |
| 13    | 0                 | 0      | +1,215 | 0,8                        | 0,64      | 0,16   | 11,5                                | 39,0  | 262             | 49,6             | 360,3           |
| 14    | 0                 | 0      | -1,215 | 0,8                        | 0,64      | 0,16   | 5,5                                 | 38,2  | 232             | 63,8             | 435,6           |
| 15    | 0                 | 0      | 0      | 0,8                        | 0,64      | 0,16   | 8,5                                 | 42,0  | 331             | 64,8             | 432,6           |
| 16    | 0                 | 0      | 0      | 0                          | 0         | 0      | 10                                  | 47,8  | 278             | 58,9             | 375,0           |

Таблица 5

Влияние комплексной пластифицирующе-ускоряющей добавки на основе сульфата натрия и нативного раствора леворина на свойства бетона при изгибе и сжатии

| № п/п | Уровни параметров |                |                | Расход добавки, % по массе |                                |                | Изотермическая выдержка, ч | Прочность бетона на изгиб и сжатие, $R_{изг}, R_{сж}$ , кгс/см <sup>2</sup> |                    |                  |                 |
|-------|-------------------|----------------|----------------|----------------------------|--------------------------------|----------------|----------------------------|---|--------------------|------------------|-----------------|
|       | X <sub>1</sub>    | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | общий %                    |                                | ОНРЛ %         |                            | X <sub>3</sub>  | после пропаривания |                  | на 28-е сутки   |
|       |                   |                |                | X <sub>1</sub>             | X <sub>1</sub> -X <sub>2</sub> | X <sub>2</sub> | R <sub>изг</sub>           |   | R <sub>сж</sub>    | R <sub>изг</sub> | R <sub>сж</sub> |
| 1     | -1                | 1              | 1              | 1,2                        | 1,1                            | 0,10           | 10                         | 54,0  | 313,0              | 68,9             | 477,3           |
| 2     | -1                | 1              | 1              | 0,4                        | 0,36                           | 0,04           | 10                         | 47,6  | 393,0              | 58,8             | 428,3           |
| 3     | 1                 | -1             | 1              | 1,2                        | 0,72                           | 0,48           | 10                         | 43,3  | 279,7              | 57,4             | 432,0           |
| 4     | -1                | -1             | 1              | 0,4                        | 0,24                           | 0,16           | 10                         | 49,1  | 288,3              | 59,6             | 402,6           |
| 5     | 1                 | 1              | -1             | 1,2                        | 1,08                           | 0,12           | 7                          | 42,3  | 254,7              | 57,5             | 416,0           |
| 6     | -1                | 1              | -1             | 0,4                        | 0,36                           | 0,04           | 7                          | 41,6  | 213,7              | 60,4             | 388,0           |
| 7     | 1                 | -1             | -1             | 1,2                        | 0,72                           | 0,48           | 7                          | 39,9  | 268,3              | 52,2             | 488,3           |
| 8     | -1                | -1             | -1             | 0,4                        | 0,24                           | 0,16           | 7                          | 45,8  | 243,0              | 61,6             | 417,3           |
| 9     | 1,215             | 0              | 0              | 1,6                        | 1,28                           | 0,32           | 8,5                        | 40,3  | 292,7              | 54,8             | 422,6           |
| 10    | -1,215            | 0              | 0              | 0                          | 0                              | 0              | 8,5                        | 44,2  | 303,2              | 62,0             | 385,3           |
| 11    | 0                 | 1,215          | 0              | 0,8                        | 0,75                           | 0,05           | 8,5                        | 48,6  | 238,6              | 63,0             | 374,0           |
| 12    | 0                 | -1,215         | 0              | 0,8                        | 0,75                           | 0,05           | 10                         | 42,7  | 285,6              | 59,8             | 422,3           |
| 13    | 0                 | 0              | +1,215         | 0,8                        | 0,64                           | 0,16           | 11,5                       | 44,4  | 264,7              | 59,4             | 409,0           |
| 14    | 0                 | 0              | -1,215         | 0,8                        | 0,64                           | 0,16           | 5,5                        | 42,8  | 234,0              | 66,0             | 428,3           |
| 15    | 0                 | 0              | 0              | 0,8                        | 0,64                           | 0,16           | 8,5                        | 45,8  | 217,0              | 58,2             | 394,6           |
| 16    | 0                 | 0              | 0              | 0                          | 0                              | 0              | 10                         | 51,9  | 286,3              | 62,9             | 373,6           |

Таблица 6

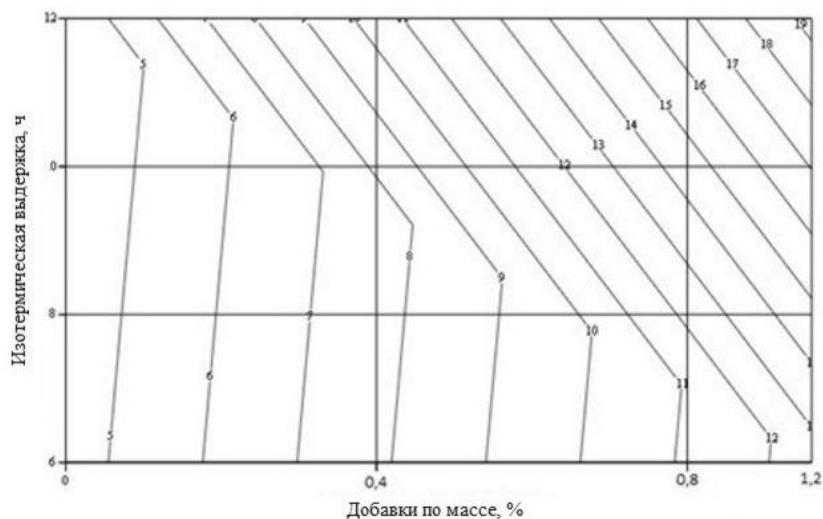
Уравнение регрессии исследуемых свойств бетона в зависимости от вида добавок и сроков испытания

| Добавка                                | Сроки определения свойств бетона | Уравнение регрессии   |
|--|----------------------------------|---|
| Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>        | После пропаривания               | $R_{изг} = (13,61 - 12,77 \cdot X_1 + 7,46 \cdot X_2 + 8,47 \cdot X_1^2 - 0,40 \cdot X_2^2) \cdot 10^{-1}$ МПа<br>$R_{сж} = (73,37 - 0,75 \cdot X_1 + 22,67 \cdot X_2 + 9,17 \cdot X_1^2 - 0,74 \cdot X_2^2) \cdot 10^1$ МПа  |
|  | В возрасте 28 суток              | $R_{изг} = (52,37 - 21,42 \cdot X_1 + 4,18 \cdot X_2 - 15,85 \cdot X_1^2 - 0,25 \cdot X_2^2) \cdot 10^{-1}$ МПа<br>$R_{сж} = (434,65 - 73,02 \cdot X_1 - 13,10 \cdot X_2 + 64,02 \cdot X_1^2 + 1,19 \cdot X_2^2) \cdot 10^{-1}$ МПа   |
| Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + ОНРО | После пропаривания               | $R_{изг} = (-4,62 + 16,3 \cdot X_1 + 18,39 \cdot X_2 + 10,92 \cdot X_3 - 0,69 \cdot X_1^2 - 48,45 \cdot X_2^2 - 0,63 \cdot X_3^2) \cdot 10^{-1}$ МПа<br>$R_{сж} = (-407,01 + 31,16 \cdot X_1 - 539,25 \cdot X_2 + 151,11 \cdot X_3 - 34,25 \cdot X_1^2 - 1058,34 \cdot X_2^2 - 8,48 \cdot X_3^2) \cdot 10^{-1}$ МПа |
|  | В возрасте 28 суток              | $R_{изг} = (36,66 + 3,33 \cdot X_1 + 52,9 \cdot X_2 + 5,13 \cdot X_3 - 2,87 \cdot X_1^2 - 132,79 \cdot X_2^2 - 0,35 \cdot X_3^2) \cdot 10^{-1}$ МПа   |
| Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + ОНРЛ | После пропаривания               | $R_{изг} = (20,78 + 0,23 \cdot X_1 + 3,75 \cdot X_2 + 5,01 \cdot X_3 - 1,10 \cdot X_1^2 - 24,67 \cdot X_2^2 - 0,23 \cdot X_3^2) \cdot 10^{-1}$ МПа<br>$R_{сж} = (254,94 + 70,29 \cdot X_1 - 232,53 \cdot X_2 - 3 \cdot X_3 + 54,04 \cdot X_1^2 + 396 \cdot X_2^2 + 0,95 \cdot X_3^2) \cdot 10^{-1}$ МПа             |
|  | В возрасте 28 суток              | $R_{изг} = (92,22 + 1,42 \cdot X_1 - 21,91 \cdot X_2 - 7,19 \cdot X_3 - 0,18 \cdot X_1^2 + 5,60 \cdot X_2^2 + 0,42 \cdot X_3^2) \cdot 10^{-1}$ МПа<br>$R_{сж} = (552,69 + 51,76 \cdot X_1 - 97,34 \cdot X_2 - 39,88 \cdot X_3 - 11,23 \cdot X_1^2 + 312,16 \cdot X_2^2 + 2,31 \cdot X_3^2) \cdot 10^{-1}$ МПа       |

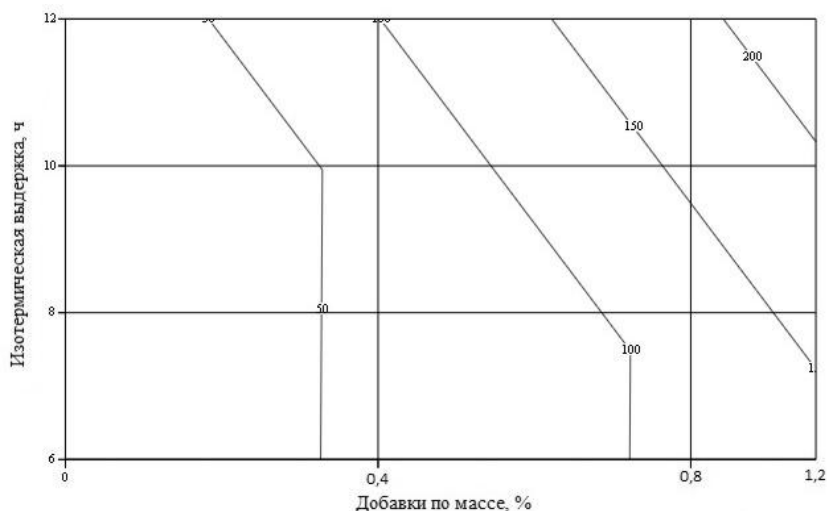
бетона на осевое сжатие после тепловлажностной обработки в зависимости от времени изотермической выдержки в производственных условиях увеличилась на 15–20 %, а в 28-суточном возрасте интенсивность твердения несколько снизилась, однако прочностные характеристики бетона с предложенной добавкой были выше контрольных составов на 8–10 %.

Более существенные результаты по набору прочности бетона после тепловлажностной обработки и в 28-суточном возрасте были получены при использовании комплексных пластифицирующе-ускоряющих добавок на основе отхода сульфата натрия и нативных растворов ОНРО и ОНРЛ.

Согласно данным, приведенным в табл. 4 и 5, прочность бетона после пропаривания увеличи-



**Рис. 1. Влияние количества добавки сульфата натрия и времени изотермической выдержки при тепловой обработке на прочность бетона при изгибе в 28-суточном возрасте (расчетный коэффициент Фишера = 0,002 < табличный коэффициент Фишера = 3,7)**



**Рис. 2. Влияние количества добавки сульфата натрия и времени изотермической выдержки при тепловой обработке на прочность бетона при сжатии в 28-суточном возрасте (расчетный коэффициент Фишера = 0,36 < табличный коэффициент Фишера = 3,7)**

лась на 25–30 %, причём этот прирост прочности сохранился и в 28-суточном возрасте. В табл. 6 приведены уравнения регрессии исследуемых свойств бетона на изгиб и сжатие в зависимости от вида добавок и сроков испытания.

Анализ полученных результатов позволил установить более экономичный режим тепловой обработки по сравнению с принятым на заводе при сокращении времени изотермического прогрева на 15 %. Экономия цемента составила 10–12 %. На основании проведенных экспериментально-теоретических исследований на заводе ЖБИ с применением предложенных добавок были изготовлены плиты перекрытия, бордюры для дорог, сваи и другие изделия. Эксплуатаци-

онные характеристики бетонных и железобетонных конструкций из бетона с применением добавок показали технико-экономическую эффективность принятых решений. Несмотря на то, что для производства сборного и монолитного железобетона отработанные нативные растворы ОНРО и ОНРЛ, а также отходы сульфата натрия являются очень эффективными местными добавками-отходами, внедрение их сдерживается рядом обстоятельств. Основное препятствие – отсутствие накопительных емкостей для сбора и хранения на заводе. Не организована технология усреднения и четкая, оперативная система контроля и отпуска потребителю или на технологическую линию.

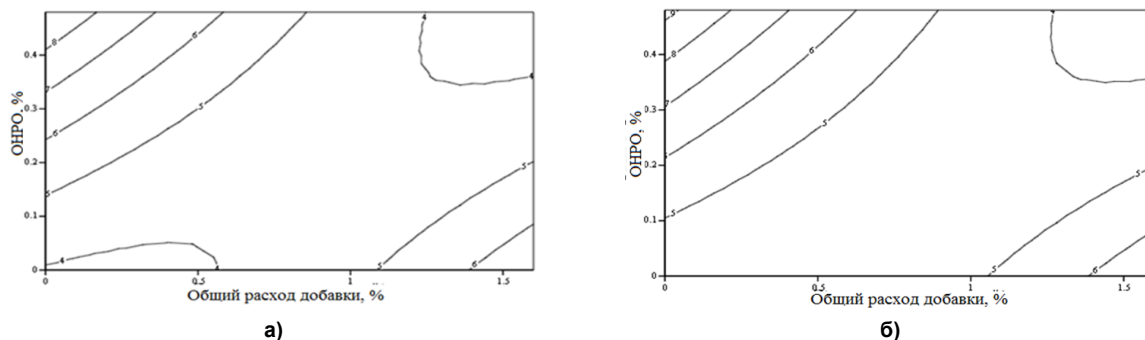


Рис. 3. Влияние комплексной добавки на основе сульфата натрия, нативного раствора олеандомицина на прочность бетона при изгибе после пропаривания, МПа. Время изотермической выдержки при тепловой обработке: а – 7 ч; б – 8,5 ч (расчетный коэффициент Фишера = 0,099 < табличный коэффициент Фишера = 3,7)

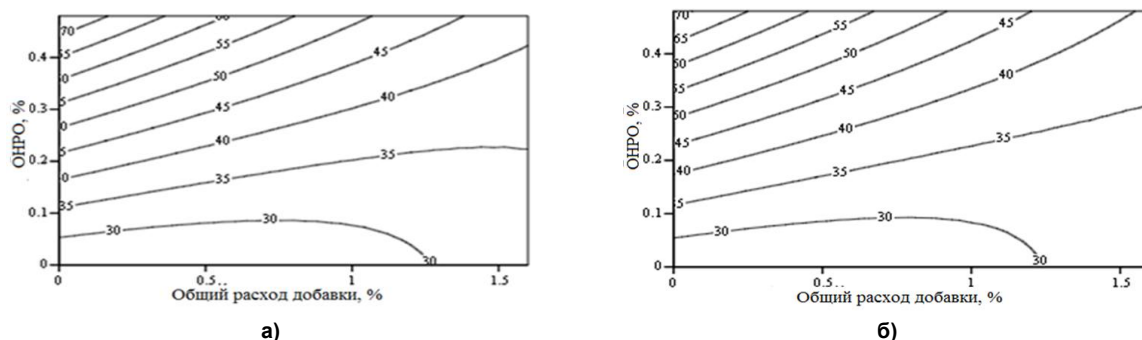


Рис. 4. Влияние комплексной добавки на основе сульфата натрия, нативного раствора олеандомицина, на прочность бетона при сжатии после пропаривания, МПа. Время изотермической выдержки при тепловой обработке: а – 8,5 ч; б – 10 ч (расчетный коэффициент Фишера = 0,05 < табличный коэффициент Фишера = 3,7)

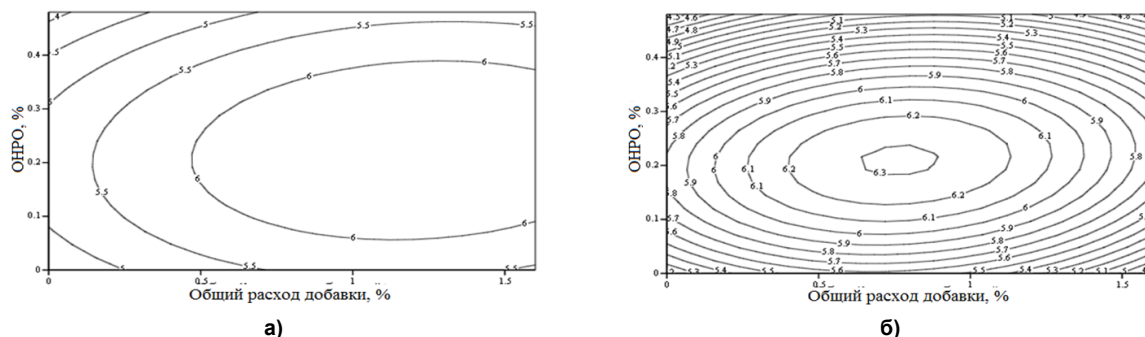


Рис. 5. Влияние комплексной добавки на основе сульфата натрия, нативного раствора олеандомицина, на прочность бетона при изгибе в 28-суточном возрасте, МПа. Время изотермической выдержки при тепловой обработке: а – 7 ч; б – 8,5 ч (расчетный коэффициент Фишера = 0,04 < табличный коэффициент Фишера = 3,7)

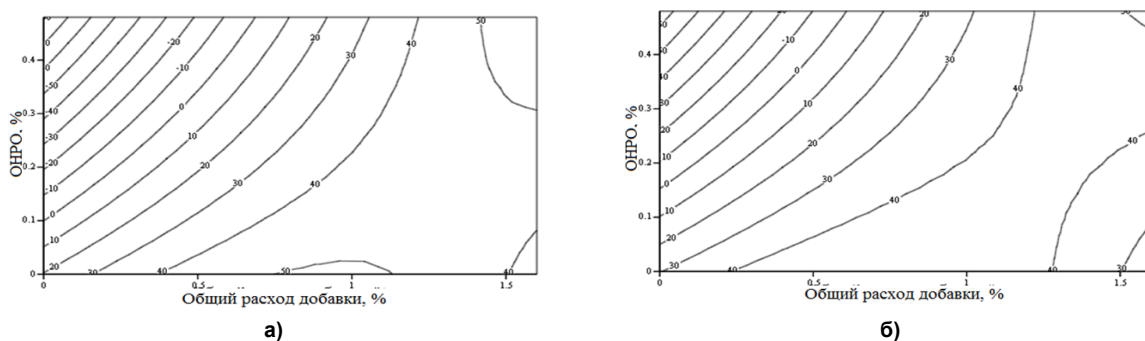


Рис. 6. Влияние комплексной добавки на основе сульфата натрия, нативного раствора олеандомицина, на прочность бетона при сжатии в 28-суточном возрасте, МПа. Время изотермической выдержки при тепловой обработке: а – 7 ч; б – 8,5 ч (расчетный коэффициент Фишера = 2,5 < табличный коэффициент Фишера = 3,7)

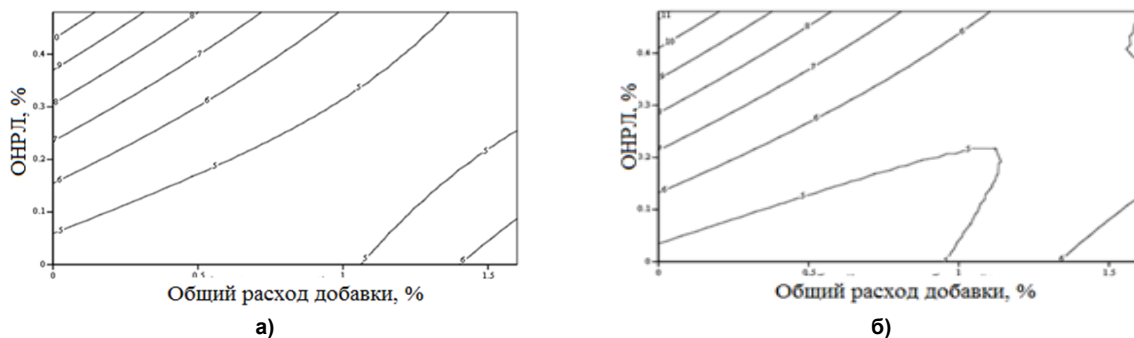


Рис. 7. Влияние комплексной добавки на основе сульфата натрия, нативного раствора леворина на прочность бетона при изгибе после пропаривания, МПа. Время изотермической выдержки при тепловой обработке: а – 7 ч; б – 8,5 ч (расчетный коэффициент Фишера = 0,092 < табличный коэффициент Фишера = 3,7)

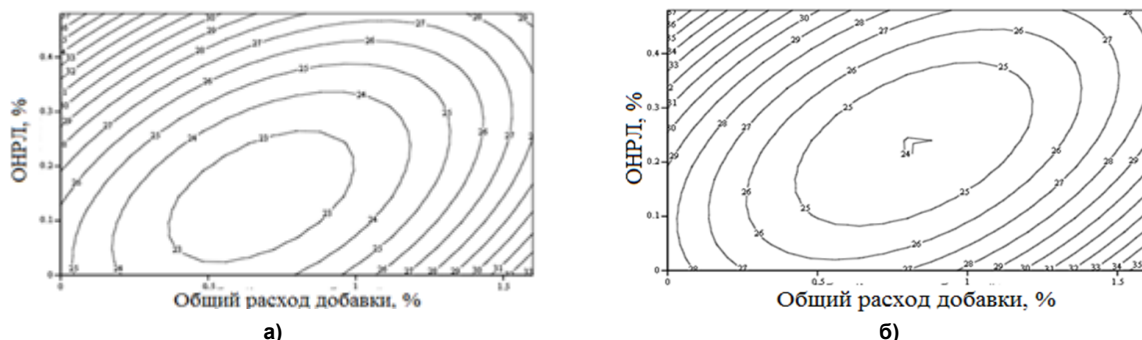


Рис. 8. Влияние комплексной добавки на основе сульфата натрия, нативного раствора леворина на прочность бетона при сжатии после пропаривания, МПа. Время изотермической выдержки при тепловой обработке: а – 7 ч; б – 8,5 ч (расчетный коэффициент Фишера = 0,61 < табличный коэффициент Фишера = 3,7)

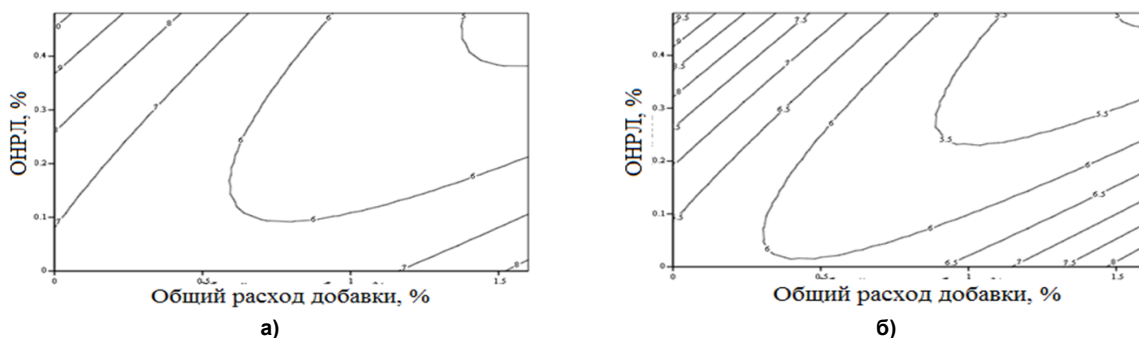


Рис. 9. Влияние комплексной добавки на основе сульфата натрия, нативного раствора олеандомицина на прочность бетона при изгибе в 28-суточном возрасте, МПа. Время изотермической выдержки при тепловой обработке: а – 7 ч; б – 8,5 ч (расчетный коэффициент Фишера = 0,025 < табличный коэффициент Фишера = 3,7)

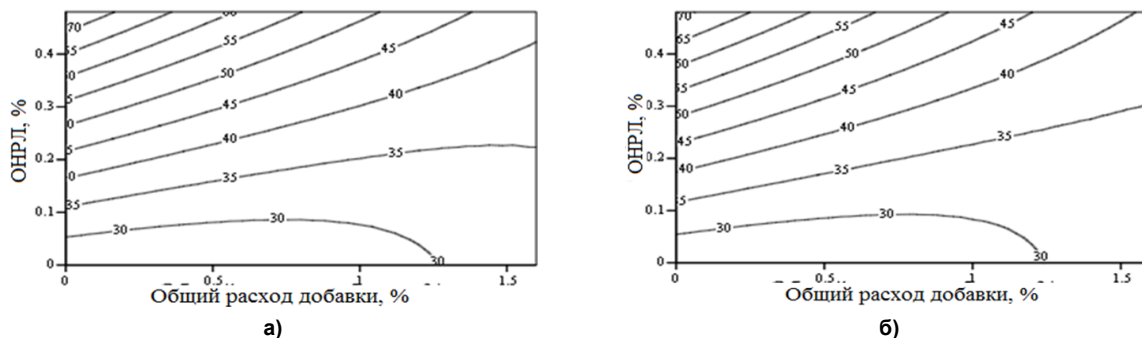


Рис. 10. Влияние комплексной добавки на основе сульфата натрия, нативного раствора леворина на прочность бетона при сжатии в 28-суточном возрасте, МПа. Время изотермической выдержки при тепловой обработке: а – 8,5 ч; б – 10 ч (расчетный коэффициент Фишера = 0,0523 < табличный коэффициент Фишера = 3,7)



Нами разработаны схемы усреднения отработанных нативных растворов, использование которых позволяет исключить колебания в вещественном составе и повысить коэффициент однородности не менее чем в три раза у комбинированных партий раствора по сравнению с отдельными сливами его. Приготовление и транспортирование пластифицирующей, ускоряющей или комплексной добавки осуществляется по технологической схеме (рис. 11).

Емкость объемом  $18 \text{ м}^3$  имеет размеры  $3 \times 3 \times 2 \text{ м}$ , она изготовлена из листовой стали толщиной 10 мм. У нее имеются ребра жесткости, захваты для транспортировки мостовым краном. Вверху емкости расположена площадка для крепления на ней (по углам емкости) пропеллерных мешалок (11), привод которых осуществляется электродвигателем (9) через редуктор (10). Длина паропровода (2), располагаемого внутри емкости, рассчитана исходя из условия получения заданной температуры раствора добавок ( $40 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и температуры теплоносителя ( $110 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Для транспортирования добавок (ОНРО и ОНРЛ) к месту потребления рекомендуются автомобильные цистерны, а для транспортирования сульфата натрия изготовлены специальные контейнеры (рис. 12), удобные для располо-

жения в грузовиках для складирования и их освобождения от добавки в приемную емкость. Загрузка ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) в емкость осуществляется с помощью мостового крана формовочного цеха. Данная схема приготовления добавок позволяет получить стабильный состав раствора добавок по заданной концентрации. Все необходимые узлы можно изготовить в производственных условиях завода.

### Выводы

1. Экспериментально-теоретические исследования по изучению влияния отходов предприятий микробиологического синтеза по производству витаминов, лекарственных препаратов, антибиотиков на свойства цементно-песчаного раствора, бетона, керамзитобетона подтвердили их положительное влияние на технико-экономическую эффективность и эксплуатационные свойства бетонных и железобетонных изделий и конструкций.

2. Предложенные добавки-отходы в виде сульфата натрия, отработанных нативных растворов олеандомицина (ОНРО) и леворина (ОНРЛ) как в отдельности, так и в комплексе показали высокую эффективность при изготовлении бетонных и железобетонных изделий и конструкций, снижая время тепловлажностной обработки на 15 %, по-

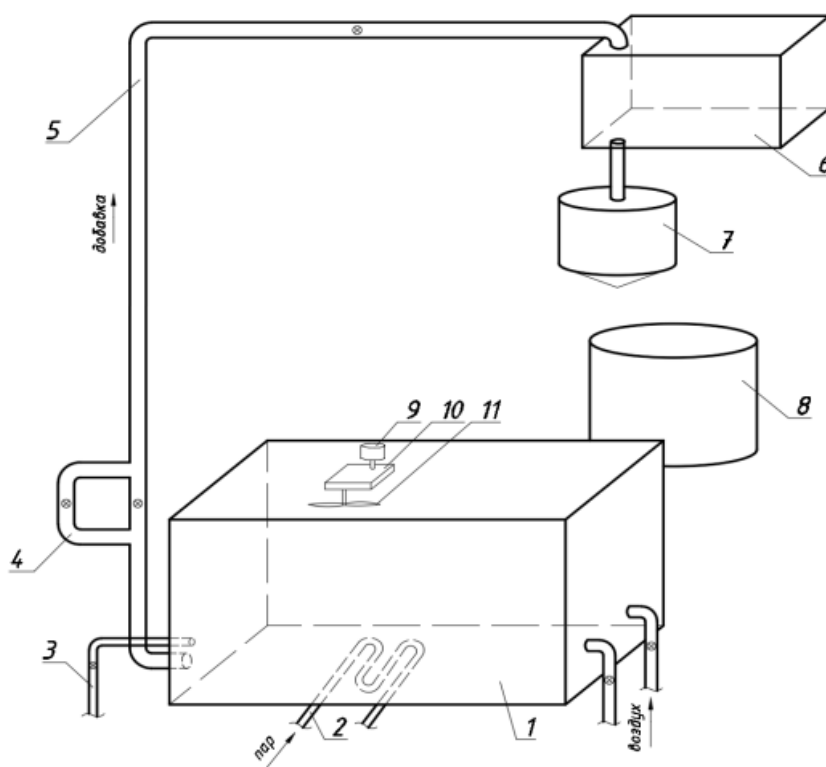


Рис. 11. Технологическая схема приготовления добавок: 1 – емкость объемом  $18 \text{ м}^3$ ; 2 – паропровод для подогрева раствора; 3 – сопла для перемешивания раствора с помощью воздуха (4 шт.); 4 – насос марки ЦНСК-60-40 для подачи раствора добавки в БСЦ; 5 – система трубопроводов; 6 – расходная емкость; 7 – дозатор; 8 – бетоно-смеситель; 9 – электродвигатель; 10 – редуктор марки ЦЧУ; 11 – лопастной смеситель

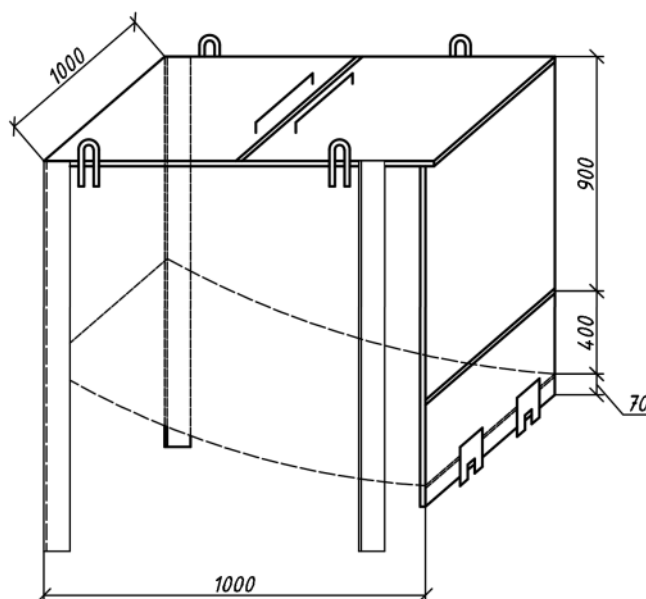


Рис. 12. Контейнер для транспортировки сульфата натрия

вышая прочность бетона на осевое сжатие на 15–30 %, сокращая расход цемента на 10–12 %.

3. Разработана технологическая схема доставки и приготовления комплексных добавок для бетона из отходов предприятий, позволяющая реализовывать их утилизацию на предприятиях строительной индустрии с получением не только технико-экономического эффекта, но и более значительного экологического эффекта.

#### Литература

1. Иванов, И.А. Утилизация некоторых отходов антибиотиков в бетоне и железобетонных конструкциях / И.А. Иванов, В.И. Калашиников, А.В. Григорьев // *Химико-фармацевтический журнал*. – 1983. – № 6. – С. 1031–1033.

2. Использование мицелиальных отходов производства медицинских препаратов / Л.В. Пономарева, М.И. Янкевич, В.И. Яковлев и др. // *Антибиотики и химиотерапия*. – 1990. – Т. 35, № 2. – С. 43–45.

3. О влиянии углеводов на возможность утилизации отходов производства антибиотиков в строительной индустрии / О.В. Тараканов, В.И. Калашиников, М.В. Крымский и др. // *Антибиотики и химиотерапия*. – 1989. – Т. 34, № 8. – С. 606–609.

4. Описание изобретения к авторскому свидетельству № 863541. Способ приготовления бетонных и растворных смесей / В.И. Калашиников, Ю.С. Кузнецов, И.И. Иванов, М.И. Григорьев, М.А. Ануфриев, В.Л. Хвастунов, А.В. Григорьев. – Оpubл. 15.09.1981. Бюл. № 34.

5. Разработка экспериментальной технологии утилизации твердых отходов производства антибиотиков аминокликозидного ряда: отчет

о НИР / Центр военно-технических проблем биологической защиты научно-исследовательского института металлургии Министерства Обороны РФ. Рук. Ю.Н. Орлов. 1997. – Арх. ЦВТП БЗ, Инв. № 335.

6. Разработка экспериментальной технологии утилизации твердых отходов производства антибиотиков аминокликозидного ряда: отчет / ЦВТП БЗ НИИМ МО РФ. Екатеринбург, 1998. – Арх. ЦВТП БЗ. – Инв. № 370.

7. Описание изобретения к авторскому свидетельству SU № 1028625. Вяжущее / В.И. Калашиников, И.И. Иванов, В.С. Демьянова, В.В. Нефедов, Л.А. Постнова. – Оpubл. 15.07.1983. Бюл. № 26.

8. Утилизация модифицированных отходов производства антибиотиков для получения строительных материалов / В.И. Калашиников, В.Ф. Карпунин, М.В. Крымский и др. // *Антибиотики и химиотерапия*. – 1988. – Т. 33, № 5. – С. 339–342.

9. Крунчак, В.Г. Утилизация клеточной биомассы микроорганизмов / В.Г. Крунчак // *Микробиологическая промышленность*. – 1981. – 1 (175). – С. 2–3.

10. Описание изобретения к авторскому свидетельству № 1079636 А. Сырьевая смесь для производства керамзита / Н.И. Макридин, И.И. Иванов, В.И. Калашиников, Ю.С. Кузнецов, В.Л. Хвастунов, Н.И. Попов, Н.Н. Сироткин, В.Н. Соколов, В.М. Орехова, В.Ф. Карпунин, М.И. Григорьев. – Оpubл. 15.03.1984. Бюл. № 10.

11. Использование мицелиальных отходов производства медицинских препаратов / Л.В. Пономарева, М.И. Янкевич, В.И. Яковлев и др. // *Антибиотики и химиотерапия*. – 1990. – Т. 35, № 2. – С. 43–45.

12. ТУ 5870-005-58042865-05. Пластификатор С-3. от 15.16.2005.
13. Сахаросодержащие добавки в цементном камне / В.В. Богданов, Н.А. Коренева // Формование строительных изделий: межвузовский тематический сборник. – Калининград: Калининград. политехн. ин-т, 1985. – С. 62–64.
14. Добавки в бетон: справочное пособие / В.С. Рамачандран, Р.Ф. Фельдман, М. Коллепарди и др. – М.: Стройиздат, 1988. – 575 с.
15. Добролюбов, Г. Прогнозирование долговечности бетона с добавками / Г. Добролюбов, В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг. – М.: Стройиздат, 1983. – 212 с.
16. Егоров, Н.С. Основы учения об антибиотиках / Н.С. Егоров. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1986. – 448 с.
17. Пособие по применению химических добавок при производстве сборных железобетонных конструкций и изделий. – М.: Стройиздат, 1989. – 37 с.
18. Применение отходов производства в качестве пластифицирующих добавок для бетонов / И.А. Иванов, В.И. Калашников, Ю.С. Кузнецов, Н.И. Ишева // Бетон и железобетон. – 1985. – № 1. – С. 38–39.
19. Химия углеводов / Н.К. Кочетков, А.Ф. Бочков, Б.А. Дмитриев и др. – М.: Химия, 1967. – 672 с.
20. Комплексная переработка и использование металлургических шлаков в строительстве / В.С. Горшков, С.Е. Александров, С.И. Иващенко, И.В. Горшкова. – М.: Стройиздат, 1985. – 272 с.
21. Комплексные добавки на основе гидролизных производств / Н.П. Блещик, О.Д. Дашкевич // Строительство и архитектура Белоруссии. – 1987. – № 3. – С. 20–21.
22. Мелентьева, Г.А. Фармацевтическая химия / Г.А. Мелентьева. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Медицина, 1976. – 826 с.
23. Разработка пластифицирующей добавки на основе продуктов биологического происхождения / В.И. Соломатов, В.Д. Черкасов, В.И. Бузулуков, С.В. Царёва // Современные проблемы строительного материаловедения: VI академические чтения Российской академии архитектурно-строительных наук (РААСН), Иваново, 2000. – С. 495–498.
24. Тараканов, О.В. Бетоны с добавками активаторов твердения на основе вторичного сырья / О.В. Тараканов, В.И. Калашников. – Пенза. ПГАСА, 2001. – 319 с.
25. Феднер, Л.А. Использование отходов химической промышленности и теплоэнергетического комплекса для производства цемента / Л.А. Феднер, В.П. Севостьянов, М.А. Суханов // Строительные материалы. – 1994. – № 2. – С. 12–13.
26. Черкасов, Л.А. Применение сульфатных целочков бумажно-целлюлозных комбинатов в качестве добавок в бетон / Л.А. Черкасов, С.А. Миронов, О.С. Иванова // Бетон и железобетон. – 1984. – № 10. – С. 23–24.
27. Collepardi, M. The Influence calcium lignosulphonate on the hydration of cements / M. Collepardi, A. Marcialis, V. Solinas // Cemento. – 1973. – № 70. – P. 3–14.
28. Ramachandran, V.S. Effect of Sugar-free lignosulphonates on cement hydration / V.S. Ramachandran // Zement-Kalk-Gips. – 1978. – № 31. – P. 206–210.
29. Young, J.F. Reaction mechanism of organic admixtures with Hydrating Cement Compounds / J.F. Young // Transportation Research Record. – 1974. – № 564. – P. 1–9.

**Хвастунов Виктор Леонтьевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технология строительных материалов и деревообработки», Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» (Пенза), techbeton@pguas.ru

**Махамбетова Камажай Нурабуллаевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология строительных материалов и деревообработки», Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (Пенза), knmakhambetova@gmail.com

**Орлов Александр Анатольевич**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Строительные материалы и изделия», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), orlova@susu.ru

**Хвастунов Алексей Викторович**, кандидат технических наук, директор, ООО «Проектно-конструкторское бюро «Зодчий» (Пенза), alexey\_pnz@mail.ru

Поступила в редакцию 6 ноября 2020 г.

## INDUSTRIAL EXPERIMENT FOR USING COMPLEX ADDITIVE BASED ON WASTE PRODUCTS FROM MICROBIOLOGICAL SYNTHESIS ENTERPRISES IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY

V.L. Khvastunov<sup>1</sup>, techbeton@pguas.ru  
K.N. Makhambetova<sup>1</sup>, knmakhambetova@gmail.com  
A.A. Orlov<sup>2</sup>, orlova@susu.ru  
A.V. Khvastunov<sup>3</sup>, alexey\_pnz@mail.ru

<sup>1</sup> Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russian Federation

<sup>2</sup> South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

<sup>3</sup> LLC "Design and Construction Bureau "Zodchiy", Penza, Russian Federation

The article discusses the experiment for using waste products from microbiological synthesis enterprises for the production of vitamins, medicines, antibiotics and other types of products in the manufacture of chemical additives in order to improve the basic properties of building materials, products and structures. It has been found that the waste native solution of oleandomycin (ONRO) and levorin (ONRL) has a significant plasticizing effect on cement compositions, increasing the diffusion of the cone from the cement-sand mortar (C: S = 1: 3) by 25–30% compared to the control one, and thereby reducing water consumption by 15%. The proposed additives have a positive effect on the plasticity of the concrete compound, their efficiency is virtually the same as that of the C-3 additives. Reduction in the consumption of cement in rigid concrete compounds with a maintained constant value of the water-cement ratio allows saving it by 10–12% without reducing the concrete strength. In expanded clay-concrete mixtures, due to the use of ONRO additive in an amount of 0.15% of the cement mass, water consumption is reduced by 20% with the same rigidity according to the technical viscometer. This helps to increase the strength of expanded clay concrete by 22% and the module of elasticity by 13.7%. The authors develop averaging schemes for waste native solutions, the use of which makes it possible to exclude fluctuations in the material composition and to increase the homogeneity coefficient at least by three times for combined batches of solution in comparison with its separate parts. At the factory of reinforced concrete products, using the proposed additives, floor slabs, curbs for roads, piles and other products with good technico-economical and operational indicators are manufactured.

*Keywords: waste products, superplasticizer C-3, native solutions, oleandomycin, levorin, sodium sulfate, cement-sand mortars, flexural and compressive strength, concrete, reinforced concrete products and structures.*

### References

1. Ivanov I.A., Kalashnikov V.I., Grigor'yev A.V. [Utilization of Some Waste of Antibiotics in Concrete and Reinforced Concrete Constructions]. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal* [Chemical and Pharmaceutical Journal], 1983, no. 6, pp. 1031–1033. (in Russ.)
2. Ponomareva L.V., Yankevich M.I., Yakovlev V.I. [Use of Mycelial Waste from the Production of Medical Drugs]. *Antibiotiki i khimioterapiya* [Antibiotics and Chemotherapy], 1990, vol. 35, no. 2, pp. 43–45. (in Russ.)
3. Tarakanov O.V., Kalashnikov V.I., Krymskiy M.V. [About the Influence of Carbohydrates on the Possibility of Utilization of Waste Products of Antibiotic Production in the Construction Industry]. *Antibiotiki i khimioterapiya* [Antibiotics and Chemotherapy], 1989, vol. 34, no. 8, pp. 606–609. (in Russ.)
4. Kalashnikov V.I., Kuznetsov Yu.S., Ivanov I.I., Grigor'yev M.I., Anufriyev M.A., Khvastunov V.L., Grigor'yev A.V. *Sposob prigotovleniya betonnykh i rastvornykh smesey* [Method for Preparing Concrete and Mortar Mixtures]. Patent USSR, no. 863541, 1981.
5. Orlov Yu.N. (Ed.). *Razrabotka eksperimental'noy tekhnologii utilizatsii tverdykh otkhodov proizvodstva antibiotikov aminoglikozidnogo ryada. Otchet o NIR* [Development of an Experimental Technology for the Utilization of Solid Waste from the Production of Aminoglycoside Antibiotics: Research Report]. *Tsentr voyenno-tekhnicheskikh problem biologicheskoy zashchity nauchno-issledovatel'skogo instituta metallurgii Ministerstva Oborony RF* [Center for Military-Technical Problems of Biological Protection of the Science-Research Institute of Metallurgy of the Ministry of Defense of the Russian Federation], 1997.
6. *Razrabotka eksperimental'noy tekhnologii utilizatsii tverdykh otkhodov proizvodstva antibiotikov aminoglikozidnogo ryada: Otchet* [Development of an Experimental Technology for the Disposal of Solid Waste in the Production of Aminoglycoside Antibiotics: Report]. Center for Military-Technical Problems of Biological Protection of the Science-Research Institute of Metallurgy of the Ministry of Defense of the Russian Federation. Ekaterinburg, 1998.
7. Kalashnikov V.I., Ivanov I.I., Dem'yanova V.S., Nefedov V.V., Postnova L.A. *Vyazhushcheye* [Binder]. Patent USSR, no. 1028625, 1983.

8. Kalashnikov V.I., Karpukhin V.F., Krymskiy M.V. [Utilization of Modified Waste Products of Antibiotics Production for the Production of Construction Materials]. *Antibiotiki i khimioterapiya* [Antibiotics and Chemotherapy], 1988, vol. 33, no. 5, pp. 339–342. (in Russ.)
9. Krunchak V.G. [Utilization of the Cellular Biomass of Microorganisms]. *Mikrobiologicheskaya promyshlennost'* [Microbiological Industry], 1981, no. 1 (175), pp. 2–3. (in Russ.)
10. Makridin N.I., Ivanov I.I., Kalashnikov V.I., Kuznetsov Yu.S., Khvastunov V.L., Popov N.I., Sitrotkin N.N., Sokolov V.N., Orekhova V.M., Karpukhin V.F., Grigor'yev M.I. *Syr'vevaya smes' dlya proizvodstva keramzita* [Raw Mixture for Expanded Clay Production]. Patent USSR, no. 1079636 A, 1984.
11. Ponomareva L.V., Yankevich M.I., Yakovlev V.I. [Use of Mycelial Waste from the Production of Medical Drugs]. *Antibiotiki i khimioterapiya* [Antibiotics and Chemotherapy], 1990, vol. 35, no. 2, pp. 43–45. (in Russ.)
12. TU 5870-005-58042865-05 [Plasticizer C-3], 2005.
13. Bogdanov V.V., Koreneva N.A. [Sugar-Containing Additives in Cement Stone. Interuniversity Thematic Digest: Forming Construction Products]. Kaliningradskiy politekhnicheskii institut Publ., 1985, pp. 62–64. (in Russ.)
14. Ramachandran V.S., Fel'dman R.F., Kollepari M. *Dobavki v beton* [Additives in Concrete]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1988. 575 p.
15. Dobrolyubov G., Ratinov V.B., Rozenberg T.I. *Prognozirovaniye dolgovechnosti betona s dobavkami* [Prognostication the Durability of Concrete with Additives]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1983. 212 p.
16. Egorov N.S. *Osnovy ucheniya ob antibiotikakh* [Basics of the Learning about Antibiotics]. Moscow, Higher School Publ., 1986. 448 p.
17. *Posobiye po primeneniyu khimicheskikh dobavok pri proizvodstve sbornyykh zhelezobetonnykh konstrukt-siy i izdeliy* [Manual on the Use of Chemical Additives in the Production of Precast Reinforced Concrete Structures and Products]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1989. 37 p.
18. Ivanov I.A., Kalashnikov V.I., Kuznetsov Yu.S., Isheva N.I. [Application of Industrial Waste as Plasticizing Additives for Concrete]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete], 1985, no. 1, pp. 38–39. (in Russ.)
19. Kochetkov N.K., Bochkov A.F., Dmitriyev B.A., Usov A.I., Chizhov O.S., Shibayev V.N. *Khimiya uglevodov* [Chemistry of Carbohydrates]. Moscow, Chemistry Publ., 1967. 672 p.
20. Gorshkov V.S., Aleksandrov S.E., Ivashchenko S.I., Gorshkova I.V. *Kompleksnaya pererabotka i ispol'zovaniye metallurgicheskikh shlakov v stroitel'stve* [Complex Processing and Use of Metallurgical Slags in Construction]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1985. 272 p.
21. Bleshchik N.P., Dashkevich O.D. [Complex Additives Based on Hydrolysis Industries]. *Stroitel'stvo i arkhitektura Belorussii* [Construction and Architecture of Belarus], 1987, no. 3, pp. 20–21. (in Russ.)
22. Melent'yeva G.A. *Farmatsevticheskaya khimiya* [Pharmaceutical Chemistry]. Moscow, Meditsina Publ., 1976. 826 p.
23. Solomatov V.I., Cherkasov V.D., Buzulukov V.I., Tsar'eva S.V. [Development of a Plasticizing Additive Based on Products of Biological Origin]. *Sovremennyye problemy stroitel'nogo materialovedeniya: VI akademicheskkiye chteniya Rossiyskoy akademii arkhitekturno-stroitel'nykh nauk (RAASN)* [Modern Problems of Construction Materials Science: VI Academic Lectures of the Russian Academy of Architectural and Construction Sciences (RAACS)]. Ivanovo, 2000, pp. 495–498. (in Russ.)
24. Tarakanov O.V., Kalashnikov V.I. *Betony s dobavkami aktivatorov tverdeniya na osnove vtorichnogo syr'ya* [Concrete with Addition of Hardening Activators Based on Recycled Materials]. Penza. PGASA Publ., 2001. 319 p.
25. Fedner L.A., Sevost'yanov V.P., Sukhanov M.A. [Use of Wastes from the Chemical Industry and Heat-power Complex for the Production of Cement]. *Stroitel'nyye materialy* [Construction Materials], 1994, no. 2, pp. 12–13. (in Russ.)
26. Cherkasov L.A., Mironov S.A., Ivanova O.S. [The Use of Sulphate Liquors of Paper-Cellulose Combines as Additives to Concrete]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete], 1984, no. 10, pp. 23–24. (in Russ.)
27. Collepari M., Marcialis A., Solinas V. [The Influence calcium lignosulphonate on the hydration of cements]. *Cemento*, 1973, no. 70, pp. 3–14.
28. Ramachandran V.S. [Effect of Sugar – Free Lignosulphonates on Cement Hydration]. *Zement-Kalk-Gips*, 1978, no. 31, pp. 206–210.
29. Young J.F. [Reaction Mechanism of Organic Admixtures with Hydrating Cement Compounds]. *Transportation Research Record*, 1974, no. 564, pp. 1–9.

*Received 1 December 2020*

---

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Производственный опыт использования комплексных добавок – отходов от предприятий микробиологического синтеза в строительной индустрии / В.Л. Хвастунов, К.Н. Махамбетова, А.А. Орлов, А.В. Хвастунов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2021. – Т. 21, № 1. – С. 30–42. DOI: 10.14529/build210104

### FOR CITATION

Khvastunov V.L., Makhambetova K.N., Orlov A.A., Khvastunov A.V. Industrial Experiment for Using Complex Additive Based on Waste Products from Microbiological Synthesis Enterprises in the Construction Industry. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2021, vol. 21, no. 1, pp. 30–42. (in Russ.). DOI: 10.14529/build210104