



## ТЕОРЕТИЧНА ОСНОВА ОПТИМАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ СТРУМЕНЕВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ БЕТОНУВАННЯ ТОНКОСТІННИХ КОНСТРУКЦІЙ

**В.Я. Бабиченко, В.І. Данелюк, Е.І. Козлюк**

*Одеська державна академія будівництва та архітектури,  
буд.4, вул. Дідріхсона, м. Одеса, Україна, 65029  
e-mail: wadim\_dan@mail.ru*

*Отримана 12 травня 2009; прийнята 22 травня 2009*

**Анотація.** Теоретичною основою технології струменевого бетонування із застосуванням еластичних металевих пристроїв є нова природно-наукова сутність механічних, фізичних і хімічних процесів, які лежать в основі перетворення жорсткої дрібнозернистої бетонної суміші в особливо щільний високоміцний бетон тонкостінних конструкцій. Дослідженнями питання здобуття високощільних дрібнозернистих бетонів тонкостінних конструкцій в умовах будівельного майданчика було встановлено, що найбільш ефективними для вирішення поставленої проблеми є способи струменевої технології бетонування, при здійсненні яких бетонна суміш, будучи перетвореною в потік дискретних часток, ущільнюється під впливом вельми інтенсивних інерційних сил. До недавнього часу як технічні засоби для струменевої технології бетонування застосовувалися в основному пневматичні апарати: цемент-пушка і шприц-машини. Але у зв'язку із значною енергоємністю, складністю і металоємністю технологічного устаткування, пневматичні способи струменевої технології, як і раніше, використовуються обмежено. Положення змінилося на користь струменевої технології бетонування, коли для здобуття щільного бетону будівельних конструкцій був застосований спосіб ротаційного ущільнення, при якому укладання бетону з ущільненням велося за допомогою роторів, що оберталися з певною швидкістю.

**Ключові слова:** струменова технологія бетонування, еластичні трубчасті елементи, тонкостінні конструкції, торкрет, армоторкрет, фібробетон, армоцемент.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОСНОВА ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ СТРУЙНОЙ ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНИРОВАНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

**В.Я. Бабиченко, В.И. Данелюк, Э.И. Козлюк**

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры,  
д. 4, ул. Дидрихсона, г. Одесса, Украина, 65029  
e-mail: wadim\_dan@mail.ru*

*Получена 12 мая 2009; принята 22 мая 2009*

**Аннотация.** Теоретической основой технологии струйного бетонирования с применением эластичных металлических устройств является новая естественно научная сущность механических, физических и химических процессов, которые лежат в основе превращения жесткой мелкозернистой бетонной смеси в особенно плотный высокопрочный бетон тонкостенных конструкций. Исследованиями вопроса получения высокоплотных мелкозернистых бетонов тонкостенных конструкций в условиях строительной площадки было установлено, что наиболее эффективными для решения поставленной проблемы являются способы струйной технологии бетонирования, при осуществлении которой бетонная смесь, будучи преобразованной в поток дискретных частиц, уплотняется под воздействием весьма

интенсивных инерционных сил. До недавнего времени как технические средства для струйной технологии бетонирования применялись в основном пневматические аппараты: цемент-пушка и шприц-машины. Но в связи со значительной энергоемкостью, сложностью и металлоемкостью технологического оборудования, пневматические способы струйной технологии, как и раньше, используются ограниченно. Положение изменилось в интересах струйной технологии бетонирования, когда для получения плотного бетона строительных конструкций был применен способ ротационного уплотнения, при котором укладка бетона с уплотнением велась с помощью роторов, которые вращались с определенной скоростью.

**Ключевые слова:** струйная технология бетонирования, эластичные трубчатые элементы, тонкостенные конструкции, торкрет, армоторкрет, фибробетон, армоцемент.

## THEORETICAL BASIS OF OPTIMUM TECHNOLOGICAL DECISIONS TO STREAM TECHNOLOGY OF THE THIN-WALLED CONSTRUCTIONS CONCRETING

V.Я. Babichenko, V.I. Daneljuk, Je.I. Kozljuk

*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture,*

*house 4, Didrihson street, Odessa, Ukraine, 65029*

*e-mail: wadim\_dan@mail.ru*

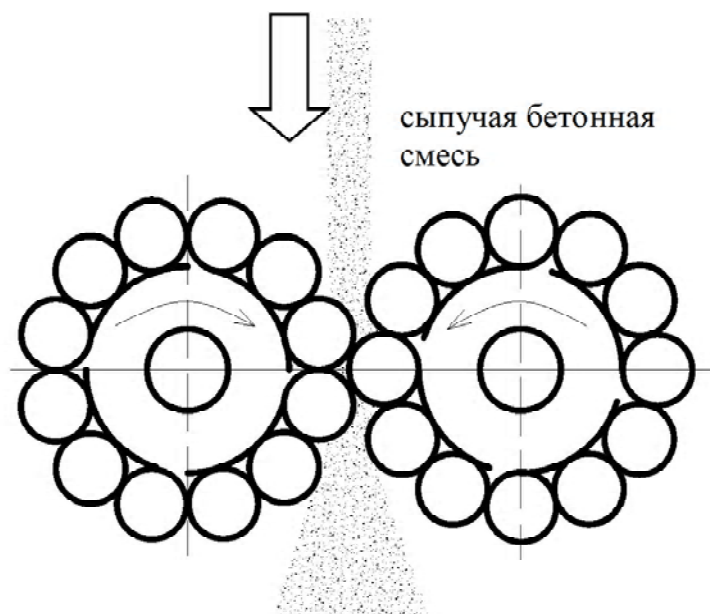
*Received 12 May 2009; accepted 22 May 2009*

**Abstract.** The theoretical basis of the stream concreting technology with using of elastic throwing devices is the new naturally scientific essence of mechanical, physical and chemical processes which are the basis of the tough fine-grained concrete mixture transformation in the especially dense high durable concrete of the thin-walled constructions. With researches getting of high-dense fine-grained concretes of the thin-walled constructions in the conditions of construction site, it has been established that most effective solution is the methods of the stream concreting technology, while realization of which the concrete mixture, being regenerated to the discrete particles flow, is densed under act of very intensive inertial forces action. Recently technical means technology of concreting were used mainly pneumatic apparatus: cement-cannon and injector machines. But in connection with considerable power capacity, complication and metal capacity of technological equipment, the pneumatic methods of stream technology as before are used restrictedly. The situation changed in the interest of stream concreting technology, when for getting of dense concrete for building constructions the method of rotary condensation, while which concrete packing with condensation was carried out by means rotors which were revolving with the certain speed.

**Keywords:** stream concreting technology, elastic devices, thin-walled constructions.

Проблема совершенствования технологии выполнения бетонных работ способами струйной технологии бетонирования и используемого при этом оборудования в условиях строительной площадки для получения особо тонкостенных строительных конструкций (армоторкретных, фибробетонных, армоцементных) продолжает оставаться актуальной. Анализом состояния данной проблемы было установлено, что задачей технологии процесса выполнения бетонных работ по получению тонкостенных конструкций в условиях строительной площадки является

обоснование и разработка технически целесообразных и экономически эффективных приемов, методов и режимов переработки жесткой мелкозернистой бетонной смеси с целью обеспечения таких физико-механических и других свойств бетона, которые позволили бы получить тонкостенные строительные конструкции высокой долговечности и эксплуатационной надежности. При этом было определено, что традиционные технологические способы струйной технологии бетонирования, в том числе и использование наиболее эффективного для решения



**Рис. 1.** Схема метательного устройства струйного бетонирования с эластичными трубчатыми элементами.

данной проблемы способа ротационного метания и применяемое при этом технологического оборудования, обладают рядом недостатков, не позволяющих использовать их для получения особо тонкостенных конструкций с применением высокопрочных бетонов в условиях строительной площадки.

Для решения поставленной проблемы мы пошли по пути разработки нового технологического оборудования струйной технологии бетонирования в виде эластичных метательных устройств.

Теоретическая основа эффективной струйной технологии бетонирования заключается в новой естественно-научной сущности механических, физических и химических процессов, которые имеют место при преобразовании с помощью нового оборудования жесткой мелкозернистой бетонной смеси в особо плотный высокопрочный бетон тонкостенных строительных конструкций [1].

Новизна эффективной струйной технологии бетонирования основана на применении новых метательных устройств, в которых жесткие пластинчатые лопасти традиционного ротационного оборудования заменены эластичными трубчатыми элементами, сплошным кольцом окружающими каждый приводной

вал метателя (рис. 1), и связанными с результатами этих решений новыми механическими, физическими и химическими процессами, позволившими выйти на новые научные и практические результаты в технологии изготовления тонкостенных конструкций и в частности изделий предельно малой толщины и повышенной прочности и плотности.

Необходимость создания струйной технологии бетонирования с применением эластичных метательных устройств возникла в процессе обоснования и разработки технически целесообразных и экономически эффективных приемов, методов и режимов технологического процесса получения в условиях строительной площадки особо тонкостенных конструктивных элементов толщиной 10-30 мм (армоторкрета, фибробетона и армоцемента).

В строительной практике для этой цели были попытки использования аппаратов струйной технологии бетонирования с традиционным оборудованием (способ сухого торкретирования, способ мокрого торкретирования, способ шприй-бетон, способ ротационного метания с использованием жестких пластинчатых лопастей), но эти попытки, как правило, не имели положительных результатов. При этом основным недостатком было наличие отскока

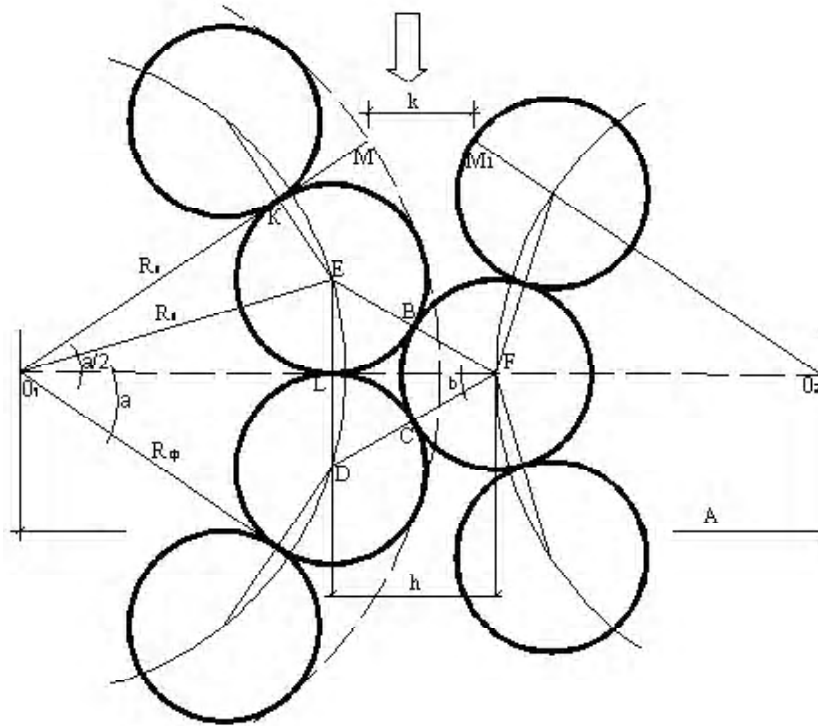


Рис. 2. Расчетная схема эластичного метательного устройства.

в процессе выполнения бетонных работ, который зависит от способа струйной технологии бетонирования. Наибольший отскок имеет место при выполнении бетонных работ способом сухого торкретирования. Значительно ниже отскок при выполнении бетонных работ способом шприц-бетон и наименьший отскок при выполнении бетонных работ способами мокрого торкретирования и ротационного метания с жесткими пластинчатыми лопастями. Помимо этого при выполнении бетонных работ способами пневматического бетонирования каждый комплект технологического оборудования включает специальный аппарат (цемент-пушка, шприц-машина или растворонасос со специальной приставкой Н.С. Марчукова для подключения сжатого воздуха) и передвижную компрессорную станцию, объединенные в единый агрегат. При этом производительность одного агрегата колеблется в пределах 1-6 м<sup>3</sup>/ч, а расход энергии составляет 20-30 кВт.ч/м<sup>3</sup>. Малая производительность, большая металлоемкость, машиноёмкость и сложность машин, значительный расход энергии являются основными причинами того, что способы пневматического бетонирования используют в случаях

крайней необходимости. Помимо этого, при использовании традиционного пневматического оборудования количество воды, поступающей в сухую мелкозернистую смесь, не подлежит точной регулировке, а степень уплотнения изменяется в зависимости от толщины укладываемого слоя. Поэтому наносимый слой торкрета при недостаточной квалификации торкретчика может получаться по своему составу и свойствам неоднородным.

Применение струйной технологии для бетонирования тонкостенных конструкций стало возможным, когда вместо средств пневматики был применен способ ротационного метания. Струйные аппараты ротационного метания прошли достаточно долгий путь своего развития, пока не появилась оригинальная конструкция метателя, отвечающая по своим параметрам требованиям технологии изготовления в условиях строительной площадки особо тонкостенных конструктивных изделий, соответствующих по своей толщине подобным изделиям из армоцемента, т.е. в пределах 10-30 мм. использованием жестких пластинчатых лопастей метательных устройств снижения энергозатрат и трудоемкости технологического процесса.

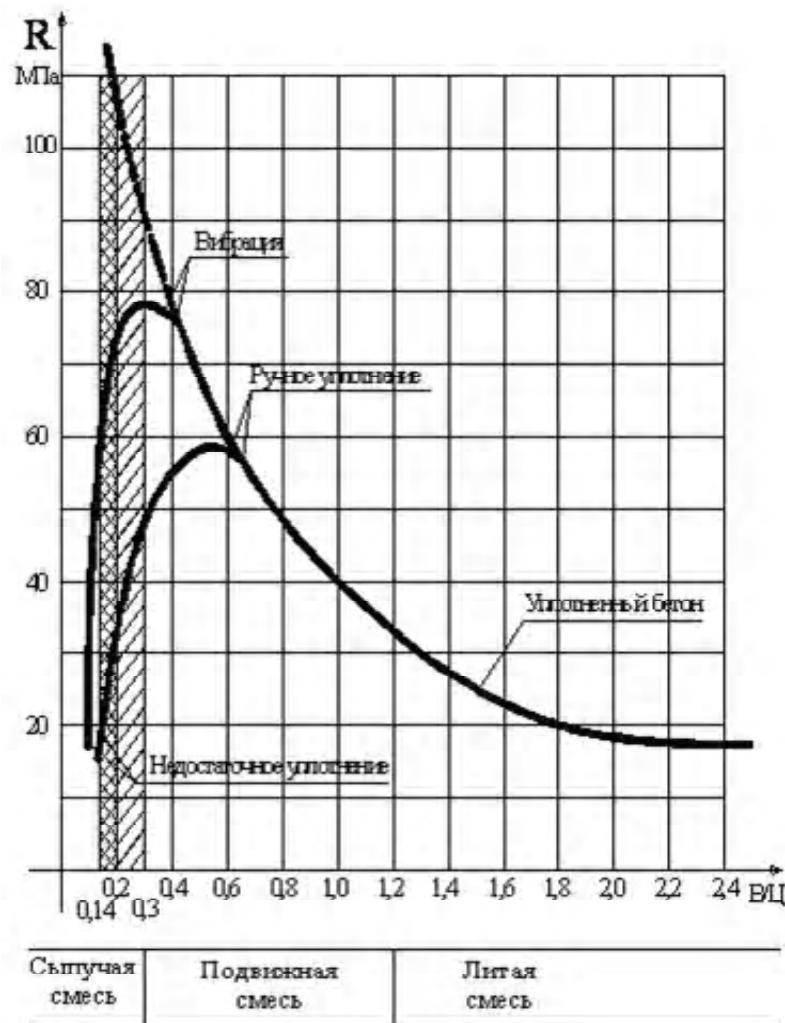


Рис. 3. Диапазон действия закона водоцементного отношения.

Только благодаря разработке эластичных метательных устройств удалось достичь положительных результатов и завершить разработку эффективной струйной технологии бетонирования, обеспечивающей предельно возможную степень уплотнения компонентов бетона, суть которой состоит в почти мгновенном торможении частиц дискретного потока бетонной смеси, состоящего из зерен цемента, мелкого заполнителя и воды (в виде частиц аэрозоля) и мгновенном объединении их в единое целое – слой свежеложенного бетона при его минимально-возможной пористости [2].

При наличии эластичных трубчатых элементов создаваемый метательным устройством дискретный поток частиц бетонной смеси обезвоздушивается и отскок резко сокра-

щается. Что касается равномерности укладки бетонной смеси на поверхность бетонирования, то это решается путем исполнения эластичного метательного устройства в едином блоке с питателем-дозатором, строго калибрующим по толщине и ширине поток сырьевой бетонной смеси, поступающей в рабочее пространство эластичного метательного устройства. Здесь смесь захватывается эластичными трубчатыми элементами метателей, разделяется на отдельные элементарные порции, схема формирования которых представлена на расчетной схеме эластичного метательного устройства (рис. 2).

В качестве материала для получения трубчатых элементов нами использованы отрезки рукавов резиновых напорных с текстильным

каркасом, механические свойства которых и размеры регламентированы ГОСТ 18698-79\*. Целесообразность их использования подтверждается многолетним опытом применения подобного материала в покрышках автомобильных колес, которые во взаимодействии с дорожным покрытием, при движении транспорта со скоростью 100-150 км/ч испытывают нагрузки подобные тем, которым подвергаются трубчатые элементы при переработке бетонной смеси.

Таким образом, рациональным зерном оптимальных технологических решений или теоретической основой явилось применение в технологическом процессе бетонирования струйных аппаратов с эластичными метательными устройствами, позволяющими принципиально изменить процесс бетонирования особо тонкостенных строительных конструкций и обеспечить интенсификацию производства бетонных работ при использовании жестких мелкозернистых бетонных смесей.

Достигнутый уровень новизны, базирующийся на теоретических разработках принципиально новых эластичных метательных устройств взамен традиционных ротационных метателей с жесткими пластинчатыми лопастями, позволил теоретически и практически подтвердить очень важную в технологии бетона закономерность – для каждого состава бетонной смеси существует свой оптимально необходимый расход воды, который зависит от принятой работы или интенсивности уплотнения бетонной смеси, что только при этом оптимуме обеспечивается получение наиболее плотного и прочного бетона [3]. И достичь этого положительного результата удастся путем использования струйной технологии бетонирования с применением нового технологического оборудования в виде эластичных метательных устройств, позволивших снять ограничения со скорости укладки мелкозернистой бетонной смеси при ее нанесении на поверхность бетонирования и обеспечить получение в условиях строительной площадки скорость укладки мелкозернистой бетонной смеси до оптимальных пределов 70-80 м/с при использовании мелкозернистых бетонных смесей повышенной жесткости с оптимальным (минимальным) водоцементным отношением 0,20

и менее [4]. Таким образом, степень новизны технологических решений состоит в том, что впервые получил дальнейшее развитие и совершенствование закон водоцементного отношения (рис. 3) в области оптимального (минимального) водоцементного отношения в пределах 0,20-0,14.

### Выводы

Существенной новизной эффективной струйной технологии бетонирования является то, что метатели эластичного метательного устройства в любом положении относительно друг друга контактируют между собой, благодаря чему зазор между ними всегда перекрыт, т.е. эластичные метательные устройства являются устройствами циклического действия. Элементарный рабочий цикл эластичного метательного устройства состоит из захвата элементарной порции бетонной смеси, сообщения этой порции определенной скорости движения и метания ее из рабочего пространства эластичного метательного устройства на бетонируемую поверхность. Началом цикла следует считать соприкосновение между собой трех эластичных трубчатых элементов. В этот момент от потока сыпучей бетонной смеси, выдаваемой из расходного бункера питателя-дозатора в виде непрерывной ленты, отсекается элементарная порция, объем которой легко определяется. С момента соприкосновения и до конца цикла эластичные трубчатые элементы метателей продолжают движение, перекатываясь по поверхности друг друга. Конец цикла наступает в момент соприкосновения между собой трех эластичных трубчатых элементов, но уже со стороны второго метателя. За один полный оборот пары метателей совершается число циклов, равное удвоенному числу эластичных трубчатых элементов, смонтированных на каждом метателе. Определив длительность элементарного цикла и объем элементарной порции, легко определить производительность аппарата струйного бетонирования.

Таким образом, перерабатываемая бетонная смесь перемещается эластичным метательным устройством, будучи защемленной элементарными порциями в полостях, образующихся в моменты, когда выступающий эластичный

трубчатый элемент одного метателя занимает положение в промежутке между двумя прилегающими друг к другу эластичными трубчатыми элементами другого метателя (см. рис. 2). Остающиеся между ними замкнутые полости в виде каналов треугольного сечения протяженностью, равной длине эластичного трубчатого элемента, играют роль шлюзов, в которых и переносятся элементарные порции бетонной смеси. Приобретая в процессе взаимодействия с эластичными метательными устройствами определенный запас кинетической энергии, элементарные порции бетонной смеси выбрасываются из рабочего пространства эластичного метательного устройства со скоростью, равной его окружной скорости, рассеиваясь при этом на отдельные частицы и образуя в совокупности дискретный поток с равномерным распределением частиц по всей ширине потока.

Преодолев в состоянии свободного полета расстояние между метательным устройством и объектом бетонирования, элементы потока сталкиваются с поверхностью объекта, резко тормозятся и, сливаясь воедино, об-

разуют слой свежеложенного бетона с равномерным распределением всех его компонентов по всей ширине бетонизируемой полосы. При этом кинетическая энергия ударяющихся частиц, в форме ударных импульсов, затрачивается на уплотнение слоя свежеложенного бетона, переходя в конечном итоге в энергию диссипации.

### Литература

1. Технологія будівельного виробництва: Підручник / В.К. Черненко, М.Г. Ярмоленко, Г.М. Батура та ін.; За ред. В.К. Черненка, М.Г. Ярмоленка. – К.: Вища шк., 2002. – 430 с.
2. Бабиченко В.Я., Данелюк В.І. Метальний пристрій для укладання та ущільнення бетонних сумішей. Патент № а 2008 12967.
3. Гершберг О.А. Технология бетонных и железобетонных изделий. – М.: Стройиздат, 1971. – 360 с.
4. Бабиченко В.Я., Данелюк В.И., Дюженко М.Г., Качура А.А., Ибрагим Р.С. Производительность устройства в процессе ударно-импульсного уплотнения // Моделювання в комп'ютерному матеріалознавстві: Матеріали до 46-го міжнародного семінару. – МОК'46. – Одеса: Астропринт, 2007. – С. 219-220.

**Бабиченко Віктор Якович** – к.т.н., доцент кафедри технології будівельного виробництва Одеської державної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: технологія виконання спеціальних способів бетонування.

**Данелюк Вадим Ілліч** – асистент кафедри технології будівельного виробництва Одеської державної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: технології виробництва тонкостінних бетонних конструкцій, укладання і ущільнення жорстких бетонних сумішей.

**Козлюк Елеонора Іполітівна** – к.т.н., доцент кафедри технології будівельного виробництва Одеської державної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: технологія виконання бетонних робіт, сучасні технології улаштування покрівель.

**Бабиченко Віктор Яковлевич** – к.т.н., доцент кафедри технології строительного производства Одесской государственной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: технология выполнения специальных способов бетонирования.

**Данелюк Вадим Ильич** – ассистент кафедры технологии строительного производства Одесской государственной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: технологии производства тонкостенных бетонных конструкций, укладка и уплотнение жестких бетонных смесей.

**Козлюк Элеонора Ипполитовна** – к.т.н., доцент кафедры технологии строительного производства Одесской государственной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: технология выполнения бетонных работ, современные технологии устройства кровель.

**Babichenko Victor Jakovlevich** – candidate of technical sciences, assistant professor “the Technology of a Building Production” chair of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: technology of carrying out of the special concreting methods.

**Danelyuk Vadim Ilich** – assistant “the Technology of a Building Production” chair of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: technologies of the thin-walled concrete constructions production packing, piling and condensation of tough concrete mixtures.

**Kozlyuk Eleanora Ippolitovna** – candidate of technical sciences, assistant professor “the Technology of Building Production” chair of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: technology of concrete works fulfilment, modern technologies of roofs setting up.